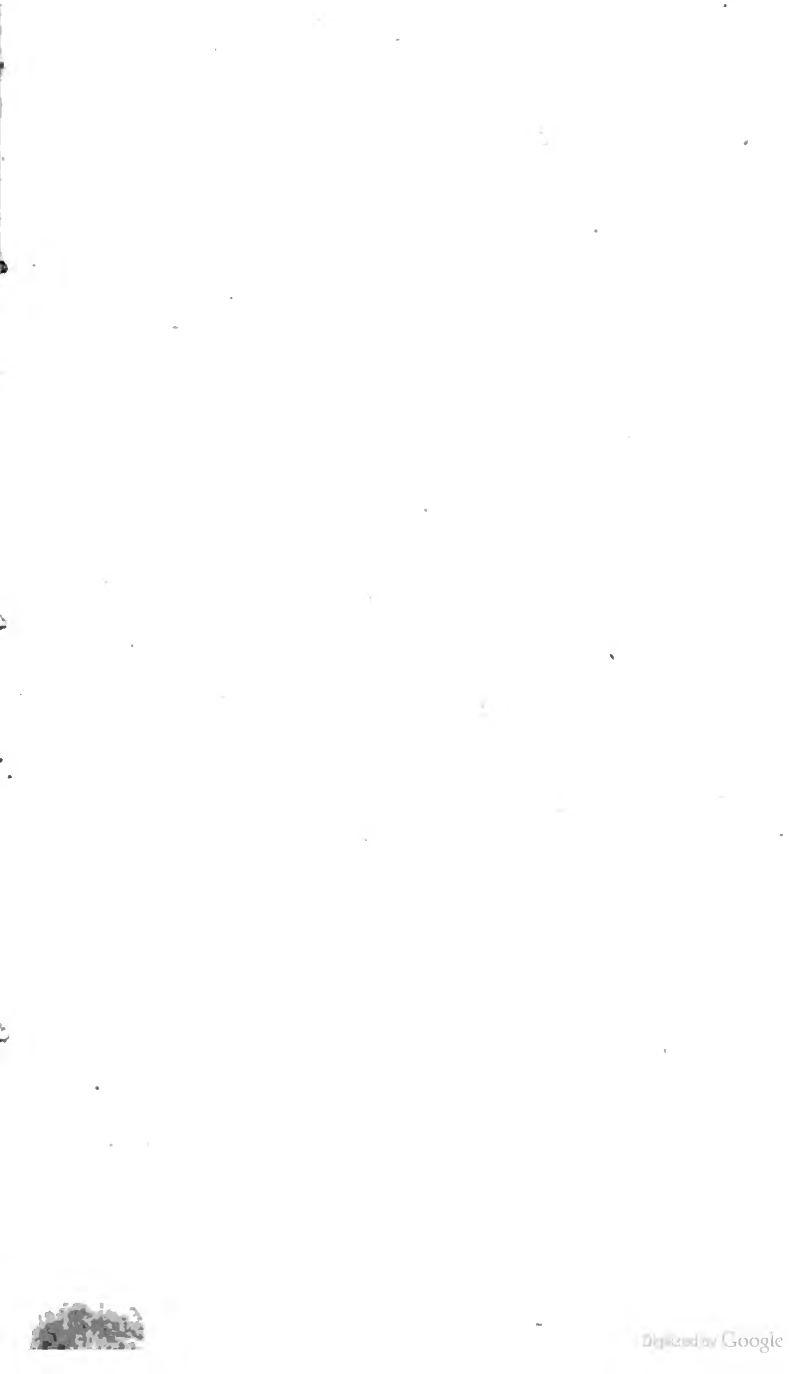

SIGILLVM ACADEMIÆ HARVARDIANÆ IN NOV: ANG:
CHRISTO ET ECCLESIÆ
Bought with
the Gift of
Uriah A. Boyden,
of Boston
Civil Engineer
Recd 10 May, 1856



Johann Samuel Traugott Gehler's

Physikalisches Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Brandes. Gmelin. Horner. Muncke. Pfaff.

Dritter Band.

E.

Mit Kupfertafeln I bis XVI.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1827.

Physikalisches Wörterbuch

III. Band.

E.

E.

Ebbe und Fluth.

Fluxus et refluxus maris; le flux et le reflux de la mer; *ebb and flow, tides;* heifst das abwechselnde, alle Tage zweimal regelmäfsig wiederkehrende Sinken und Steigen des Wassers in den grofsen Meeren. Die Namen *aestus maris,* les marées, *the tides* bezeichnen dieses ganze Phänomen, statt dafs Fluth (*accessus maris,* le flux, *flow or flux*) das Steigen des Wassers, Ebbe (*recessus maris,* le reflux, *ebb or reflux*) das darauf folgende Sinken des Wassers bezeichnet. Wenn die Fluth ihr Ende erreicht hat, so ist es *volle Fluth, hohes Wasser* (haute mer, *high water*), und sobald das Wasser zu fallen anfängt, ist es Ebbe, die sich endigt, wenn das Wasser am niedrigsten steht, die *tiefste Ebbe, das niedrigste Wasser* (la basse mer, *low water*), eingetreten ist.

Genauere Beschreibung der Erscheinungen.

1. Wenn man sich am Meeres-Ufer befindet und die Beobachtung gerade um die Zeit anfängt, wo es volle Fluth ist, so bemerkt man eine kurze Zeit keine Aenderung des Wasserstandes. Aber dieser völlige Ruhestand ist nur von sehr kurzer Dauer, und bald bemerkt man, dafs das Wasser ein wenig sinkt, dafs die Wellen da, wo sie an einem flach sich erhebenden Ufer herauf laufen, nicht ganz mehr den Punct erreichen, bis zu welchem sie so eben noch gelangten, und dafs Gegenstände, die im tiefen Wasser stehen, nach und nach höher aus dem Wasser hervorragen. Dieses zuerst unbedeutende und langsame Sinken des Wassers wird allmählig schneller, so dafs etwa 3 Stunden nach dem höchsten Wasser das Fallen am schnellsten

ist; nachher vermindert sich die Schnelligkeit des Sinkens, und nachdem die Ebbe reichlich 6 Stunden gedauert hat, hört das, nach und nach unmerklich werdende, Sinken des Wassers ganz auf. Unterdeſs sind überall die zuerst nicht sehr tief mit Wasser bedeckten Gegenden ganz vom Wasser entblöſst worden, so daſs, zum Beispiel am deutschen Ufer der Nordsee, Pfäle, die bei hohem Wasser nur wenig aus dem Wasser hervorragten, nun 12 Fuſs und darüber oberhalb desselben sichtbar sind; daſs flache Sände, über welchen man vorhin ansehnliche Schiffe mit vollen Segeln sich fortbewegen sah, nun trocken da liegen, und einen für Wagen und Fuſsgänger brauchbaren Raum darbieten. Aber nur wenige Minuten dauert diese tiefste Ebbe; die Fluth kehrt wieder und ihr allmählig schnelleres und nachher wieder minderes Steigen befolgt ungefähr eben die Gesetze, die wir vorhin beim Sinken bemerkten; die vom Wasser entblöſsten Gegenstände werden wieder davon überströmt, und nach einer Zeit von etwas mehr als 12 Stunden hat sich der Zustand, den wir zu Anfange beobachteten, wieder hergestellt, und dem nun wieder eingetretenen höchsten Wasser folgen dieselben Erscheinungen in unaufhörlich wechselnder regelmäſsiger Folge.

Die *Tiefe*, bis zu welcher das Wasser, von seinem höchsten Stande an, fällt, ist nicht an allen Orten, auch nicht an jedem Tage für denselben Ort gleich. An den Nordsee-Ufern Deutschlands beträgt der Unterschied der gewöhnlichen Ebbe und Fluth 12 Fuſs in andern Gegenden ist er geringer, in andern auch gröſser und zum Beispiel am westlichen Ende des Canals beträgt die gesammte Fluthhöhe gegen 40 Fuſs, statt daſs sie auf den Südsee-Inseln kaum einige Fuſse steigt.

2. Die *Wechsel* der Fluth und Ebbe kehren täglich zweimal regelmäſsig wieder; aber nicht genau zu derselben Stunde, sondern so, daſs die volle Fluth an jedem folgenden Tage etwa um 50 Minuten später erfolgt, und alle andern Erscheinungen sich eben so verspäten; erst nach 14 Tagen kommt die Fluth wieder auf dieselbe Tagesstunde zurück, und man bemerkt, daſs sehr genau die Zeit der Fluth am Tage des Neumondes und Vollmondes dieselbe ist, und also die Zeit ihres Eintretens mit der Stellung des Mondes zusammenhängt. Diese Bemerkung läſst sich selbst von einem Tage zum andern machen, da auch der Durchgang des Mondes durch den Meridian sich täglich um etwa 50 Minuten verspätet, und daher mit dem Erscheinen des

Mondes im Meridian sehr nahe alle Tage eben der Zustand des Steigens oder Sinkens zusammentrifft.

Die *Periode zweier ganzer Fluthzeiten* ist also sehr nahe gleich der Zeit, die von einem Durchgange des Mondes durch den Meridian bis zum nächsten Durchgange verfliefst; indefs trifft nicht an allen Orten der Durchgang des Mondes mit dem höchsten Wasser oder nicht überall mit demselben Zustande des Steigens und Fallens zusammen; und diese Verschiedenheit scheint von den Hindernissen herzurühren, die sich der allmähligen Fortpflanzung der Fluth entgegenstellen. Am deutlichsten zeigt sich dieses in den Strömen. —

3. Was nämlich auch die Ursache der Fluth seyn mag, so erhellet doch sehr deutlich, dafs sie in den grofsen Meeren ihren eigentlichen Sitz hat, und dafs in den Strömen nur darum Fluth entsteht, weil das im Meere höher gestiegene Wasser sich entweder selbst in die Ströme hinein ergiefst, oder wenigstens das Wasser des Stromes hindert, sich ins Meer zu ergiefsen, und es daher aufstauet. Da dieses Einströmen an der Mündung anfängt, so tritt daselbst die Fluth am frühsten ein und immer später, je höher man im Strome hinaufgeht; ja es kommt oft der Fall vor, dafs diese Fluthwelle sich noch den Strom hinauf fortwälzt, wenn an der Mündung schon wieder tiefe Ebbe ist. Auf ähnliche Weise verzögert sich auch in den einzelnen Theilen der Meere die Fluth, und wir dürfen uns daher nicht wundern, wenn der Mond, nach dessen Stellung doch die Fluth sich zu richten scheint, nicht an allen Orten bei seiner höchsten Stellung einen gleichen Zustand des Steigens oder Fallens bewirkt.

4. Die *Fluthhöhe* ist an demselben Orten nicht an allen Tagen gleich, sondern man bemerkt, dafs überall die Tage um den Neumond und Vollmond bedeutend höhere Fluthen haben, und dafs an eben den Tagen die Ebbe tiefer als gewöhnlich sinkt, so dafs die gesammte Fluthhöhe an diesen Tagen viel gröfser als sonst ist. Diese, allen Küstenbewohnern bekannten, höhern Fluthen heifsen *Springfluthen* (vives eaux; *spring tides*). Dagegen bemerkt man um die Zeit der Mondsviertel, dafs die Fluth weniger als sonst steigt und die Ebbe weniger sinkt, welches man an den Ufern der Nordsee, *Nippfluthen* oder *taube Fluth* (mortes eaux; *neaptides*) nennt. Da beim Neumonde der Mond nahe bei der Sonne steht, so ist es eine sehr natürliche Vermuthung, dafs die höhere Fluth durch die vereinte Wirkung

von Sonne und Mond ebenso entstehen mag, wie die gewöhnliche Fluth durch den Mond allein oder vorzüglich hervorgebracht wird. Daſs auch beim Vollmonde die Fluth höher ist, muſs offenbar aus eben den Gründen erklärt werden, von welchem die zweite Fluth, da der Mond unter dem Horizonte ist, abhängt.

5. Endlich bemerkt man noch eine Ungleichheit in den Fluthen, je nachdem der Mond in seiner Erdnähe oder Erdferne ist, indem bei sonst gleichen Umständen die Fluthen zur Zeit der Erdnähe höher sind, bei der Erdferne geringer. Aus diesem Grunde sind die Springfluthen am höchsten, wenn Neumond und Erdnähe des Mondes oder Vollmond und Erdnähe des Mondes zusammentreffen, und die Nippfluthen sind am geringsten, wenn das Mondesviertel mit der Erdferne zusammen trifft.

6. Diese Erscheinungen, über deren genauere Umstände im Einzelnen vieljährige und genaue Beobachtungen noch mehrere Bestimmungen ergeben, sind hier so beschrieben, wie sie bei stillem Wetter eintreten und wie sie sich als der allgemeine Gang der Erscheinungen dem ungelehrten aber aufmerksamen Beobachter zeigen. Stürme bringen so groſse Verschiedenheiten hervor, daſs durch sie die Fluthen hoch und gefährlich werden können, selbst wenn sie nach den übrigen Umständen unbedeutend seyn sollten, wie wir in der Folge sehen werden.

Auch für das Steigen und Sinken jeder einzelnen Fluth läſst sich, obgleich auch da Winde und zufällige Umstände Aenderungen hervorbringen, eine Regel angeben, die für das offene Meer sehr nahe richtig ist. Laplace[1] drückt sie so aus: Wir wollen uns einen verticalen Kreis denken, dessen Umfang so in Stunden und Minuten getheilt ist, daſs der ganze Umfang die Zeit einer ganzen Fluth und Ebbe darstelle; hat dann der Durchmesser die Gröſse der ganzen Fluthhöhe, und zählt man die Theile des Umfangs vom tiefsten Puncte an, so schneidet jede durch einen Theilungspunct des Umfangs gezogne horizontale Linie auf dem Vertical-Durchmesser die Höhe ab, bis zu welcher das Wasser gestiegen ist, wenn die bis zu jenem Umfangspuncte gezählten Stunden und Minuten seit der tiefsten Ebbe verflossen sind. Nach diesem Gesetze, wo die Höhen sich wie die Sinus vers. der Zeiten verhalten, würde also, wenn man die ganze Zeit des Wachsens auf 6 Stunden 12 Minuten

1 Exposit. du syst. du monde. Livre. 4. chap. 10.

= 372 Min. setzt, und die gesammte Fluthhöhe = 12 Fuſs, zu jeder Zeit = t, die seit dem tiefsten Wasser verflossen ist, die Höhe = 6 Sin. vers. $\frac{t. 180^\circ}{372}$ seyn, also zum Beispiel für die ersten 31 Minuten, die Höhe sich um 0,2 Fuſs, dagegen in der Mitte zwischen dem höchsten und tiefsten Wasser etwa 1,6 Fuſs in eben der Zeit ändern. Aber auch dieses Gesetz gilt nicht ganz gleichförmig für alle Orte, und man bemerkt zum Beispiel zu Anfang der Ebbe am Ufer noch kaum ein Sinken des Wassers, wenn es im Freien schon ziemlich erheblich gesunken ist. Damit hängt auch der Wechsel des *Fluth* – und *Ebbestromes* zusammen, den man vorzüglich in den Mündungen der Flüsse bemerkt; der Wechsel dieses Stromes tritt später ein als der Wechsel des Steigens und Fallens; denn erst, wenn das Wasser vor der Mündung bedeutend gestiegen ist, kann es den Ebbestrom überwältigen und in Fluthstrom verwandeln, und so umgekehrt. Nach Woltmann's Bemerkung kann jener Unterschied über 1 Stunde betragen[1].

7. Endlich gehört hieher noch die Bemerkung, daſs nur in groſsen Meeren die Fluth statt findet, daſs sie in den kleinern nur durch ihre Verbindung mit jenen hervorgebracht wird, und daſs es in ganz oder beinahe ganz von Land umgebenen kleinern Meeren, wie das caspische Meer und die Ostsee, gar keine Fluth und Ebbe giebt.

In die Nordsee tritt sie theils vom nördlichen Schottland her, theils durch den Canal ein, und eben die Fluth, welche um 12 Uhr in Buchanneſs (an der nordöstlichen Seite Schottlands) hohes Wasser macht, bringt vor dem Humber 6 Stunden später, bei Yarmouth 9½ Stunde später, vor der Themse und so auch an den holländischen und deutschen Küsten 12 Stunden später Hochwasser; an den letzteren Orten vereinigt sich damit die durch den Canal kommende Fluth, die (wenn man eben die Tage nimmt) bei Brest um 3½ Uhr, bei Havre um 9 Uhr, bei Ostende um 12 Uhr höchstes Wasser macht, und hier mit jener zusammen trifft [2].

Bei diesem Fortrücken der Fluth muſs ich doch noch bemerken, daſs man Unrecht haben würde, wenn man sich die

1 Handbuch der Schifffahrtskunde, zum Gebrauch für Navigationsschulen etc. Hamburg. 1819. S. 376.

2 Woltmann am ang. O. S. 378.

Fluth als einen mit grofser Schnelligkeit fortgehenden Strom denken, oder gar glauben wollte, das Seewasser müsse in nicht völlig 25 Stunden einen Umlauf um dieganze Erde machen. So wenig bei der Wellenbewegung die Wassertheilchen so schnell fortgeführt werden, als die Wellenköpfe anscheinend fortlaufen, eben so wenig darf man annehmen, dafs dieselben Wassertheilchen die Fluthwelle begleiten. Auf einer ganz mit Wasser bedeckten Erde würde die Fortbewegung seitwärts bei den bald gehobenen, bald sinkenden Wassertheilchen ganz unbedeutend seyn; bei der wirklichen Beschaffenheit der Meere findet dagegen allerdings an vielen Orten ein merklicher Fluth- und Ebbestrom statt, so wie er offenbar beim Einsturz in die Ströme statt finden mufs.

Meinungen über die Ursache der Ebbe und Fluth.

8. Die Griechen und Römer hatten an der Küste des Mittelländischen Meeres wenig Gelegenheit die Erscheinungen der Fluth in ihrem ganzen Umfange kennen zu lernen, doch erwähnt schon Herodot die Fluth im rothen Meere. Es ist daher wohl ganz dem Mangel an Kunde von diesen Erscheinungen angemessen, was Curtius von der Ueberraschung und Verlegenheit erzählt, in welche Alexander, als er in das Indische Meer schiffen wollte, sich durch den unerwarteten und starken Wechsel von Fluth und Ebbe gestürzt fand[1].

Selbst Caesar war noch von den Ungleichheiten der Fluth und Ebbe nicht hinreichend unterrichtet, und erlitt daher einen bedeutenden Verlust, als die Vollmondsfluthen, deren höheres Steigen ihm unbekannt war, seine aufs Trockne gezognen Schiffe am Ufer Britanniens erreichten und beschädigten[2]. Dagegen spricht Tacitus schon von den gewöhnlich höher anschwellenden Aequinoctialfluthen als von etwas Bekanntem[3].

Am besten unter den alten Schriftstellern scheint Strabo die Erscheinungen der Ebbe und Fluth dargestellt zu haben, welcher sie so beschreibt, wie sie nach Posidonius Erzählung in Cadix beobachtet werden. Hier[4] werden die täglich

1 Curtius de rebus gestis Alex. IX. 9.
2 De bello Gall. IV. 29.
3 Annal. I. 70.
4 Strabonis res geographicae Lib. III. gegen das Ende.

zweimal eintretenden Fluthen und die höheren Neumonds- und Vollmondsfluthen ganz richtig erwähnt, die Zeit der Fluth in Cadix angegeben u. s. w. POSIDONIUS irrte nur darin, daſs er nach der Erzählung der Einwohner die Solstitialfluthen für höher als die Aequinoctialfluthen hielt. PLINIUS erzählt auch Mehreres die Fluth betreffendes ganz richtig [1], und bemerkt einige von PYTHEAS schon gemachte Beobachtungen [2]. SENECA [3] und MACROBIUS [4] sind in Beziehung auf dieses Phänomen sehr dürftig.

Was die Alten zur Erklärung der Erscheinung sagen, ist meistens unbedeutend. Nach dem, was sich in einem dem PLUTARCH zugeschriebenen Buche findet, soll PYTHEAS gesagt haben, das Meer fluthe bei zunehmendem Monde und falle bei abnehmendem Monde [5]. ARISTOTELES bemerkt, daſs sich die Fluth nach dem Monde richte. PLINIUS sieht Sonne und Mond als die Ursache der Fluth und Ebbe an und sagt, das Wasser bewege sich, dem Gestirne, welches das Meer an sich ziehe, Folge leistend. POSIDONIUS hatte sehr richtig gesagt, das Meer zeige drei den himmlischen Bewegungen ähnliche Perioden, nämlich eine tägliche, eine monatliche und eine jährliche, indem die Fluthen zweimal täglich, stärkere Fluthen zweimal monatlich und auch bei den Solstitien jährlich stärkere Fluthen wiederkehrten; STRABO scheint aber nicht ganz in diese Meinung einzustimmen.

9. Etwas tiefer eindringende Erklärungen suchten die spätern Naturforscher zu geben, als nach dem Wiederaufleben der Wissenschaften, auch die Naturkunde mit mehr Fleiſs betrieben wurde. GALILAEI [6] glaubte, die tägliche und jährliche Bewegung der Erde sey Ursache der Ebbe und Fluth. Er glaubt, da die wahre Bewegung eines Theilchens an der Erdoberfläche bei Tage etwas langsamer, bei Nacht etwas schneller

---

1 Hist. natural. II. 97.

2 Aber weder bei ihm, noch sonst wo kann ich finden, was in Robison system of mechan. philos. III. p. 307. behauptet wird, daſs PYTHEAS schon fast alle bis auf NEWTON's Zeiten bekannte Erscheinungen richtig angegeben habe.

3 Quaest. natural. III. 28.

4 Somnium Scip. I. 6.

5 Placita philosoph. III. 17. ARISTOTELES de mundo. 4. STRABONIS geogr. III. 3.

6 Dialogus de syst. mundi. Aug. Treboc. 1635. p. 424.

sey, so müsse das Wasser in den grofsen Meeren bei Nacht etwas hinter den Ufern zurückbleiben, und sich an den westlichen Küsten erhöhen, bei Tage etwas voreilen und an den östlichen Küsten steigen. Da sich daraus die zweimal in 24 Stunden entstehende Fluth nicht erklären läfst, so nimmt er noch andere Voraussetzungen zu Hülfe, die ich hier nicht umständlich erwähnen will.

Cartesius[1] erklärte auch die Ebbe und Fluth so wie die Bewegungen der Planeten aus Wirbeln. Da nach seiner Meinung der Mond sowohl als die Erde mit einem Wirbel umgeben seyn sollte, so kämen diese beiden Wirbel da, wo sie zwischen Erde und Mond durchgehen sollten, ins Gedränge und brächten einen Druck hervor, welchem das Meer ausweichen müfste. Indem so in der Mitte des Meeres das Wasser weggedrängt würde, müsse es, glaubte er, gegen die Ufer steigen und hier Fluth bewirken. — Gegen diese Hypothese spricht ganz entscheidend die Erfahrung, dafs gar nicht blofs am Ufer, sondern eben so gut in der Mitte der grofsen Meere zu der Zeit, wo der Mond ihnen ungefähr im Zenith steht, ein Höhersteigen beobachtet wird; — und es ist daher kaum nöthig zu bemerken, dafs auch die zweite Fluth, während der Mond unter dem Horizont ist, sich nicht so erklären läfst.

Wallis[2] versuchte eine Erklärung, die sich an die von Galilaei anschliefst, aber den Umstand als besonders wichtig darstellt, dafs es nicht eigentlich der Mittelpunct der Erde, sondern der gemeinschaftliche Schwerpunct des Mondes und der Erde ist, welcher einen regelmäfsigen Kreislauf um die Sonne macht. Wenn man hierauf Rücksicht nehme, bemerkt er, so sey der Mittelpunct der Erde bald innerhalb, bald aufserhalb der Bahn, welche jener Schwerpunct durch läuft, und daraus müfsten solche wechselnde Bewegungen des Wassers entstehen.

10. Wichtiger und der richtigen Erklärung näher, oder diese vielmehr schon, wenn gleich unentwickelt, andeutend, sind Kepler's Aeufserungen über die Ebbe und Fluth[3]. Er legte den Weltkörpern eine gegenseitige Anziehung bei, und

1 Principia philos. Pars 4. Propos. 49.

2 Wallisii opera Tom. II. p. 737.

3 Astronomia nova trad. Comment. de motu stellae Martis. praefatio.

sagte, daſs Mond und Erde, wenn sie nicht in Bewegung wären, gegen einander fallen und sich endlich begegnen würden. Die Ebbe und Fluth sah er als einen Beweis an, daſs der Wirkungskreis der ziehenden Kraft des Mondes (virtus tractoria) sich bis zur Erde erstrecke.

Galilaei kannte diese Meinung Kepler's[1], die er an einer andern Stelle als von einem Antistite quodam aufgestellt erwähnt, und setzt ihr einzig das entgegen, daſs doch der Mond täglich über das Mittelländische Meer hingehe, und gleichwohl nur an dem äuſsersten östlichen Ende desselben und in Venedig eine Fluth hervorbringe.

11. Viel tiefer eindringend, als diese immer doch nur oberflächlichen Behauptungen, ist Newton's Untersuchung der Kräfte, welche die Ebbe und Fluth hervorbringen. Da seine Forschungen vollständig dargethan hatten, daſs die Bewegungen der Planeten von anziehenden Kräften abhängen, so entstand in seinem System die nothwendige Frage, welchen Einfluſs solche anziehende Kräfte, deren Daseyn nicht mehr bezweifelt werden konnte, auf die die Erde bedeckenden Gewässer haben müſsten, und da das Gesetz, wie diese anziehenden Kräfte wirkten, bekannt war, so lieſs sich der Erfolg, den ihre Wirkung haben müsse, einer genauern Berechnung unterwerfen.

Newton selbst hat diesen Gegenstand kurz abgehandelt[2], und nur die Resultate mitgetheilt, so daſs selbt der scharfsinnige Daniel Bernoulli bemerkt, er habe den eigentlichen Ursprung mancher Theoreme erst eingesehen, als seine eigene, eigenthümlich geführte Untersuchung ihn auf eben die Theoreme leitete.

Newton stellte zuerst die Untersuchung an, wie das Wasser in einem rund um die Erde gehenden Canale in seiner Bewegung beschleunigt oder verzögert wird, je nachdem es mit dem anziehenden Körper in Conjunction und Opposition kommt, oder 90 Grade von dem anziehenden Gestirne entfernt ist. Er berechnet nachher die anziehenden Kräfte der Sonne und des Mondes aus den Beobachtungen der Fluth unter der Voraus-

---

1 Dialogus de system. mundi. Augustae Treboc. 1635. p. 456. 412.
2 Principia phil. nat. Lib. I. propos. 66. coroll. 19. 20. und Lib. III. pr. 24. 36. 37.

setzung, daſs ihre Wirkungen sich bei den Syzygien in eine Summe vereinigen, statt daſs die Fluthen bei den Quadraturen uns ihre Differenz angeben.

Newtons Theorie wurde[1] weiter ausgeführt von Dan. Bernoulli, Maclaurin und L. Euler, welche alle die Frage zu beantworten suchten, welche Gestalt die mit Wasser bedeckte Erde annehmen würde, wenn das Wasser unter der Einwirkung anziehender Gestirne zum Gleichgewicht käme.

Bernoulli geht bei diesen Rechnungen sehr ins Einzelne, indem er die Fluthzeit und die Fluthhöhe für die verschiedenen Stellungen des Mondes und der Sonne berechnet; er sucht das Verhältniſs der anziehenden Kräfte beider Weltkörper aus den ungleichen Zwischenzeiten der zwei einander folgenden Fluthen, die sich nämlich bei den Syzygien schneller als bei den Quadraturen des Mondes folgen.

Maclaurin's Entwickelung der Theorie der Ebbe und Fluth zeichnet sich durch eine elegante synthetische Darstellung aus.

Euler, obgleich er mit einiger Härte die attractio quorundam Anglorum als eine qualitas occulta verachtet, und lieber Wirbel annehmen will, berechnet doch die Wirkung der virium solis et lunae ad mare movendum ganz genau nach Newton's Grundsätzen. Euler findet für die Höhen der Fluth, wie sie der Stärke der Anziehungskraft gemäſs seyn sollten, andre Resultate als Newton und tadelt dessen Methode als irrig, aber Laplace zeigt[2] den Grund dieser Verschiedenheit, und bemerkt, daſs Euler vielmehr den in Newton's Methode liegenden Scharfsinn nicht recht erkannt habe, indem dieser zugleich auf die gegenseitige Attraction der Wassertheilchen Rücksicht nimmt, die Euler ganz unbeachtet läſst. Auch er sucht die Gestalt, welche das Meer im Zustande des Gleichgewichts unter der Einwirkung eines anziehenden Körpers annehmen würde, — eine Untersuchung, deren Hauptmomente ich nachher mittheilen werde.

---

1 In den Pièces, qui ont remporté le prix proposé par l'acad. des sciences pour 1740, wo auch die oben erwähnte Bemerkung Bernoulli's p. 56. vorkommt. Auch in Newtonii Phil. Nat. Princ. math. ed. le Seur und Jacquier. 1750. T. IV.

2 Mécan. cél. Tome V. 152.

Laplace ist der erste, der die Untersuchung mit Glück weiter fortzuführen versucht hat[1], indem er nach den Gesezzen der Hydrodynamik die *Oscillationen des Meeres* zu bestimmen suchte. Da ich von seinen Betrachtungen nachher einen kurzen Abriſs geben werde, so bemerke ich hier nur, daſs er (zwar unter gewissen beschränkenden Voraussetzungen) dennoch sehr allgemeine Formeln für die verschiedenen Oscillationen des Meeres findet. Die Formeln ergeben drei Arten von Oscillationen. Die eine hängt bloſs von der Breite des Beobachtungs-Ortes und von der Declination des Gestirns ab, und sie giebt daher das an, was wir in den Beobachtungen als Verschiedenheit der Fluthen, wenn das Gestirn im Aequator steht oder wenn es erheblich davon entfernt ist, bemerken. Die zweite Art von Oscillationen hat eine Periode gleich der ganzen Zwischenzeit zwischen zwei Durchgängen des Gestirns durch den obern Meridian, und sie drückt daher die Ungleichheit der Fluthen aus, wobei das anziehende Gestirn über oder unter dem Horizonte steht. Laplace zeigt, daſs die nahe Gleichheit dieser beiden Fluthen auf eine in Vergleichung gegen die Gröſse der ganzen Erde geringe Ungleichheit der Tiefe des Meeres hindeute, oder eigentlich, daſs sie anzeigt, man dürfe keine erhebliche, von *der geographischen Breite abhängende* Ungleichheit der Tiefen annehmen. Die dritte Oscillation hat eine halb so lange Periode als die vorige und stellt die täglich zweimal wiederkehrende Fluth dar. Ich brauche wohl kaum zu erwähnen, daſs die Springfluthen durch das Zusammentreffen der durch Sonne und Mond bewirkten Oscillationen der dritten Art hervorgebracht werden. Laplace's Darstellung wird vorzüglich dadurch schwierig, daſs er, wie es allerdings zu einer genauen Entwickelung erforderlich war, auf die Attraction der Wasserschicht selbst Rücksicht nimmt; ich werde daher im Folgenden versuchen, mit Beiseitsetzung dieser Rücksicht, wenigstens einen Begriff von den Rechnungen zu geben, die Laplace in Beziehung auf dieses Phänomen angestellt hat. Laplace hat diese schon vor 50 Jahren von ihm unternommenen Untersuchungen mit oft wiederholter Anstrengung weiter fortgeführt, und noch kürzlich aufs Neue eine Vergleichung der seit vielen Jahren in Brest angestellten Beobach-

---

1 Mécan. céleste. Livre IV. et XIII.

tungen mit den Resultaten der Theorie bekannt gemacht, die ich nachher mittheilen werde.

Um diesen Gegenstand hier mit möglichster Klarheit und den Bedürfnissen der verschiedenen Classen von Lesern entsprechend abzuhandeln, werde ich zuerst eine populäre Darstellung der Theorie der Ebbe und Fluth geben, dann die Untersuchungen, welche Form das Meer beim Gleichgewichte annehmen würde, mittheilen, und endlich zeigen, wie LAPLACE bei seinen Untersuchungen verfahren ist, und wie man seine, durch ihre Vollständigkeit und durch Berücksichtigung aller Umstände weitläuftigen Untersuchungen ziemlich kurz, ihren Hauptmomenten nach, angeben kann.

Da ich hoffe, dafs diese Darstellung hinreichen wird, um NEWTON's Ansicht als die richtige zu rechtfertigen, so habe ich dann wohl nicht nöthig, die von KLÖDEN, PARROT u. a. gemachten Einwürfe, die nicht die Sache, sondern vielmehr die mifslungenen Erläuterungen mancher Schriftsteller treffen, zu widerlegen und kann auch die neuen Hypothesen der eben genannten Physiker übergehen [1].

Populäre Darstellung der Newtonschen Erklärung.

12. Wenn man sich die feste Erdkugel ganz mit Wasser umgeben und ohne Bewegung denkt, so könnte es scheinen, als ob man zuerst die Frage beantworten müsse, welche Gestalt die Wasserschicht annehmen müsse, wenn der Mittelpunct der Erde festgehalten werde, und nun das Wasser der anziehenden Kraft des Mondes ausgesetzt sey; aber dieses Festhalten des festen Erdkörpers ist so ganz dem, was in der Natur vorkommt, entgegen, dafs die Beantwortung dieser Frage uns der Erklärung der Erscheinungen wenig näher bringt. Man pflegt daher ein anderes Problem aufzulösen, das allerdings näher mit dem wirklichen Zustande der Dinge zusammentrifft, nämlich folgendes. Wenn die mit einer Wasserschicht umgebene feste Erdkugel jetzt auf einmal der anziehenden Kraft des Mondes ausgesetzt würde, welche Gestalt würde sie, indem sie gegen den Mond zu fällt, annehmen?

Hier läfst sich nun wohl leicht übersehen, dafs die dem Monde näheren Wassertheile an der Oberfläche stärker als der

---

1 KLÖDEN Grundlinien einer Theorie der Erdgestaltung, und PARROT in Poggendorfs Annalen IV. 219.

Mittelpunct der Erde angezogen werden, dafs sie diesem vorauseilen und dafs also ein Theil der Wassermasse sich von den Seiten der Erde wegziehen und da ansammeln werde, wo der Mond im Zenith steht. Aber eben so leicht erhellet, dafs die jenseit der Erde liegenden Wassertheilchen minder stark als der Mittelpunct der Erde vom Monde angezogen werden, dafs sie also nicht so sehr beschleunigt, zu minder schneller Bewegung angetrieben, hinter dem Mittelpuncte zurück bleiben, und dafs also ein Theil der Wasserschicht sich von den Seiten dahin ziehen wird, wo der Mond im Nadir steht. So würde also kurz nachdem die Erde ihren freien Fall gegen den Mond hin angefangen hätte, eine Fluth im vollen Mafse an den zwei Orten auf der Erde entstanden seyn, welchen der Mond im Zenith und im Nadir steht, und dagegen würde eine Ebbe im vollen Mafse an alle den Orten eingetreten seyn, wo der Mond im Horizonte gesehen wird. Die anziehende Kraft der Erde auf jedes Theilchen wird hier darum nicht in Betrachtung gezogen, weil wegen der auf alle Theilchen Statt findenden Einwirkung, und des dadurch entstehenden Druckes und Gegendruckes, im ganzen Umfange der Kugelschicht Gleichgewicht statt findet, und Kräfte, die einander im Gleichgewichte halten, als gar nicht vorhanden angesehen werden können.

Man könnte nun ebenso auch fragen, welche Aenderung in der Lage der Wasserschicht eintritt, wenn zwei anziehende Körper A, B, die Erde mit ihrer Wasserschicht zu sich hin zögen, und es läfst sich wohl leicht einsehen, dafs der Wasserberg oder die volle Fluth dann zwischen D und E an der einen Seite der Erde, und zwischen F und G an der andern Seite der Erde liegen werde; ferner dafs das Wasser am höchsten steigen, oder *Springfluthen* hervorbringen werde, wenn beide Körper A und B nach derselben Richtung vom Mittelpuncte der Erde aus liegen, indem dann die eine Kraft gerade zu die Wirkung der andern verstärkt, und der Wasserberg sich nicht gegen zwei Puncte hin in die Breite ausdehnt, sondern in einem Puncte concentrirt ist; auch dafs eben diese verstärkte Wirkung statt findet, wenn beide anziehende Puncte einander gerade gegenüber in den Richtungen CB, CH liegen, weil dann die *Zenithfluth* des einen durch die *Nadirfluth* des andern verstärkt wird; und endlich, dafs diejenigen Fluthen am kleinsten oder Nippfluth seyn werden, bei welchen die beiden an-

Fig. 1.

ziehenden Puncte vom Mittelpuncte der Erde gesehen 90° von einander entfernt sind.

Dieses alles stimmt nun freilich mit den Erscheinungen zusammen, indem eine von Mond und Sonne zugleich bewirkte Fluth statt findet, wenn beide Gestirne über dem Horizonte sind, und eine Fluth, wenn beide sich unter dem Horizonte befinden, indem die Vereinigung dieser Fluthen beim Neumonde Springfluthen hervorbringt, und auch die Vereinigung der Fluth, wobei der Mond unter dem Horizonte ist, mit der, wobei die Sonne über dem Horizonte ist, eine Springfluth bewirkt, u. s. w; aber mit Recht scheint man hier gegen einzuwenden, dafs ein solches Fallen gegen den Mond oder gegen die Sonne doch nicht wirklich statt finde, und damit die ganze Erklärung ihren Werth verliere. Diese Einwendung ist zwar sofern richtig, als die Erde nicht fortwährend sich jenen Körpern nähert; aber dennoch hat schon Mac-Laurin darauf sehr richtig erwiedert, dafs die Ablenkungen von der Tangente der Erdbahn genau ebenso erfolgen, wie es jenen Gesetzen des Falles gemäfs ist, und dafs daher die veränderte Gestalt der Wasserschicht ebenso bestimmt werde, obgleich allerdings wegen der gemeinschaftlichen, nach der Tangente der Bahn gerichteten Bewegung aller Theilchen, kein Fallen gegen Sonne oder Mond, sondern nur ein Fortrücken des Mittelpunctes der Erde auf der Erdbahn, und ein Abweichen der Wassertheilchen von derjenigen Bahn, die wir der Bahn des Mittelpunktes parallel nennen würden, statt findet. In der That pflegen wir ja auch die Bewe-gung in der kreisförmigen oder elliptischen Bahn so abzuleiten, dafs wir dem Körper eine Geschwindigkeit nach der Tangente beilegen, vermöge welcher Fig. 2. er von A nach B in gegebener Zeit gelangen würde, und nun die anziehende Kraft gegen C hinzufügen, die in eben der Zeit ihn durch BD treiben würde, und folglich Ursache ist, dafs er den Bogen AD durchläuft. Eine ganz ähnliche Betrachtung findet hier statt. Denken wir uns nämlich die Erde Fig. 3. AB in Bewegung, und stellt CD den Raum vor, den ihr Mittelpunct in einer Stunde zum Beispiel vermöge der schon erlangten Geschwindigkeit durchlaufen würde, wenn gar keine anziehenden Kräfte wirkten, so würde am Ende der Stunde die Erde in EDF angekommen seyn und ihre Kugelgestalt ohne alle Aenderung behalten haben. Nun aber stehe in

bedeutend groſser Entfernung nach der Richtung CS die Sonne, nach der Richtung CM der Mond. Diese Himmelskörper wirken auf den festen Kern der Erde oder auf den Mittelpunct der Erde etwas schwächer ein, als auf die in der Gegend von G liegenden Wassertheilchen, und die Wirkung derselben auf die bei H liegenden Wassertheilchen ist noch schwächer als die Wirkung auf den Mittelpunct. Um diese Verschiedenheit merklich zu machen, muſs ich sie etwas stärker zeichnen, als sie in der Natur ist, und annehmen, die Sonne würde in jener Stunde den Mittelpunct C nach c, der Mond würde ihn für sich allein nach γ treiben; G dagegen würde stärker angezogen und nach Richtungen Gm, Gs, mit CM, CS beinahe parallel, bis nach b durch die Sonne, bis nach β durch den Mond fortgezogen werden; und H endlich würde, schwächer angezogen, nur bis nach a vermöge der einen Kraft, bis nach α vermöge der andern Kraft gelangen. Es ist bekannt, daſs man, um die vereinte Wirkung beider Körper auf jene drei Puncte zu erhalten, die Parallelogramme $Ccw\gamma$, $Gbv\beta$, $Hau\alpha$, vollenden muſs, und daſs, wenn jedes jener Theilchen sonst keine Bewegung gehabt hätte, es vermöge der vereinigten Anziehungskraft der Sonne und des Mondes die Diagonale des Parallelogramms durchlaufen haben würde, also C nach w, G nach v, H nach u gelangt wäre. Aber wegen der allen Theilchen gemeinschaftlichen Geschwindigkeit muſs man nun ux, vy, wz, mit CD parallel und CD gleich nehmen, und es ist bekannt genug, daſs die vereinigte Wirkung dieser ursprünglichen, allen Theilchen gemeinschaftlichen Geschwindigkeit und jener gegen Sonne und Mond gerichteten anziehenden Kräfte darin besteht, daſs der Mittelpunct C nach z, der Punct G nach y, der Punct H nach x gelangt. Da nun die Masse der Erde dieselbe geblieben ist, und die Puncte G, H sich nicht von ihr getrennt, sondern nur die umgebende Wassermasse mit sich hingezogen haben, weil für die benachbarten Theilchen ganz ähnliche Umstände stattfinden, so hat die Erde die Gestalt xlym angenommen, während ihr Mittelpunct auf der Bahn um die Sonne nach z gekommen ist, und die Gegenden, die ich vorhin mit G, H bezeichnete, haben also beide die höchste Fluth, die Gegenden l, m haben die tiefste Ebbe. Und hier, wo ich den Unterschied der Anziehungen auf C und auf G eben so groſs, als den Unterschied der Anziehungen auf H und auf C angenommen habe, sind beide

Fluthen gleich; — ob dieses richtig sey, müſste eine nähere Untersuchung der wirklich statt findenden Anziehungen erst zeigen.

Diese Entwickelung muſs, dünkt mich, alle die Einwürfe, die selbst von gelehrten Physikern zuweilen gemacht sind, daſs ihnen die Fluth an der vom Monde abgewandten Seite nicht deutlich sey, gänzlich entkräften. Um aber diese Lehre von mehr als einer Seite zu beleuchten, füge ich noch folgende, gleichfalls populäre Darstellung hinzu.

13. Wenn die Erde, ohne von einem Monde begleitet zu seyn, um die Sonne liefe, so würde immer, nicht bloſs an der der Sonne zugekehrten, sondern auch an der von ihr abgewandten Seite eine Fluth bemerkbar seyn. Es ist nämlich bekannt, daſs die Erde, die ich für einen Augenblick bloſs als festen Körper betrachten will, darum in ihrer Bahn bleibt, weil die Schwungkraft genau durch die anziehende Kraft der Sonne im Gleichgewichte gehalten wird, und der Mittelpunct der Erde beschreibt also diejenige Bahn, wobei dieses statt findet. Aber nicht alle Theilchen der Erde haben auf der gekrümmten Bahn (selbst wenn wir auf die Rotation nicht sehen), gleiche Geschwindigkeit und nicht alle werden gleich stark von der Sonne angezogen. Die entferntern müssen auf ihrem etwas gröſsern Kreise schneller, die der Sonne zugekehrten müssen auf ihrem kleinern Kreise etwas langsamer fortgehen, damit alle zugleich ihren ganzen Umlauf vollenden und dagegen wirkt die anziehende Kraft schwächer auf die entferntern und stärker auf die nähern Theilchen. Diese Ungleichheit hätte gar keinen Einfluſs wenn die Erde ganz einen festen Körper bildete, indem die gesammte Bewegung sich dann dem Mittel aus allen Schwungkräften und aus allen anziehenden Kräften gemäſs verhalten würde; aber sobald flüssige Theilchen, oder solche, die sich von dem festen Erdkörper trennen können, auf der Erde sind, so wird jene Ungleichheit bemerkbar.

Die der Sonne nähern Theilchen haben eine kleinere Schwungkraft als der Mittelpunct der Erde und sind dagegen einer stärkern Attraction der Sonne wegen ihrer gröſsern Nähe ausgesetzt; ist also für den Mittelpunct oder für den festen Erdkörper ein genaues Gleichgewicht zwischen anziehender Kraft und Schwungkraft vorhanden, so findet für die der Sonne nähern Wassertheilchen an der ihr zugekehrten Oberfläche ein Uebergewicht der anziehenden Kraft statt, und diese

Theilchen sind im Begriff, der Sonne sich zu nähern, oder die Attraction vermindert ihre gegen die Erde gerichtete Schwere, und die Wassersäulen, die an dieser Seite liegen, können nicht anders den benachbarten und allmählig weiter von der gegen die Sonne gewandten Richtung entfernt liegenden Theilchen das Gleichgewicht halten, als indem sie sich hier höher erheben. Die den festen Erdkern umgebenden Gewässer erheben sich daher hier um so viel als jene verminderte Schwere es fordert, ganz so, wie auf der rotirenden Erde die Wassersäulen um den Aequator höher seyn müssen, um, bei ihrer verminderten Schwere, denen gegen die Pole hin das Gleichgewicht zu halten. So also entsteht eine Fluth auf der der Sonne zugewandten Seite. Auf der von der Sonne abgekehrten Seite ist dagegen die Schwungkraft zu groſs; denn nicht bloſs ist die Schwungkraft an jener Seite etwas gröſser als im Mittelpuncte, sondern auch die Anziehungskraft der Sonne ist kleiner, also ist dort ein merkliches Uebergewicht der Schwungkraft vorhanden; die dort liegenden Wassertheilchen haben also ein Bestreben, sich von der Erde los zu reiſsen, oder, da ihre Schwere dieses hindert, so wird wenigstens die auf sie wirkende Schwerkraft sich als verringert zeigen; der Druck der seitwärts liegenden Wasserschichten, die durch eine mächtigere Schwere gegen den Mittelpunct der Erde getrieben werden, verdrängt daher diese von einer geringern Schwere gedrängten Theilchen und nöthigt sie, einen höhern Stand anzunehmen, so lange bis der Gegendruck der höher gewordnen Säulen stark genug ist, um das Gleichgewicht zu erhalten. Auch an der von der Sonne abgewandten Seite entsteht also eine Fluth, und das Wasser senkt sich in allen den Puncten, die die Sonne im Horizonte sehen, oder denen sie wenig über oder unter dem Horizonte steht, um sich da vorzüglich zu sammeln, wo die Sonne im Zenith und wo sie im Nadir steht.

Die Rotation der Erde bringt hierin keinen erheblichen Unterschied hervor, indem die sämmtlichen Gewässer schon die dieser Rotation angemessene Gestalt haben, und die wegen jener fremden Kräfte eintretenden Aenderungen sich nun eben so bei der sphäroidischen Erde ergeben, wie sie bei der kugelförmigen, nicht rotirenden Erde seyn würden; nur bleibt jetzt der Gipfel der Fluthhöhe nicht fortwährend an demselben Puncte der Erde.

Um zu verstehen, welchen Einflufs der Mond auf die Fluthen hat, müssen wir an den Einflufs denken, den er auch auf die Bewegung des Mittelpunctes der Erde ausübt. Wenn wir uns die Erde in ihrer Bahn fortrückend denken, so wie sie, wenn es gar keinen Mond gäbe, fortrücken würde, und nun plötzlich den Mond an die Stelle hinsetzen, wo er beim Neumonde steht, so wird ohne Zweifel die ganze Erde wegen der verstärkten Attraction gegen die Sonne hin, aus ihrer Bahn etwas ausweichen, und genau solche Betrachtungen, wie die eben vorhin ausgeführten, zeigen, dafs die dem Monde zugekehrten Wassertheilchen am meisten und mehr als der Mittelpunct von ihrem Wege abgelenkt werden, sich nämlich dem Monde und der mit ihm in Conjunction stehenden Sonne mehr als der Mittelpunct nähern und also ein Anschwellen des Wassers bewirken werden. Die an der entgegengesetzten Seite liegenden Theilchen werden dagegen minder aus der ursprünglichen Bahn herausgezogen, und entfernen sich daher gleichfalls vom Mittelpuncte der Erde, so dafs eine Fluth an der von Sonne und Mond abgewandten Seite entsteht.

Etwas ganz Aehnliches geschieht, wenn wir uns den Mond im Vollmonde, der Sonne gerade gegenüber, denken. Dann werden nämlich alle Puncte der Erde etwas von der Sonne abwärts gezogen und zwar die von der Sonne entfernteren, dem Monde zugekehrten, am meisten und mehr als der Mittelpunct, die der Sonne zugekehrten am wenigsten; die Sonnenfluth, welche da entsteht, wo die Sonne im Zenith ist, wird also vermehrt, weil die ein wenig aus ihrer Bahn herausweichende Erde diese Theilchen hinter sich zurückläfst; und diejenige Sonnenfluth, welche da entsteht, wo die Sonne im Nadir ist, wird verstärkt, weil der dort im Zenith stehende Mond die Theilchen, die ihm am nächsten sind, mehr als den Mittelpunct aus der sonstigen Bahn gegen sich hinzieht.

Hätten wir den Mond da stehend angenommen, wo er in den Vierteln steht, so läfst sich eben so leicht zeigen, dafs er die Sonnenfluth schwächt oder vielmehr da seine Wirkung mächtiger als die der Sonne ist, dafs er eine Fluth da hervorbringt, wo die Sonne im Horizonte und der Mond im Zenith oder Nadir steht; dafs diese aber vermindert wird durch die Einwirkung der Sonne, welche das Wasser da hinzieht, wo der Mond es wegzieht. Ist der Mond im letzten Viertel, so

steht er in der Gegend, wohin der Lauf der Erde gerichtet ist; er beschleunigt also die Bewegung der Erde in ihrer Bahn und zwar am meisten die Bewegung der vorangehenden Theilchen, die ihm am nächsten sind, am wenigsten die Bewegung der Theilchen, die in der Bahn die nachfolgenden und vom Monde am entferntesten sind. Jene also eilen ein wenig dem Mittelpuncte der Erde voraus und machen da, wo der Mond im Zenith ist, eine Fluth; diese hingegen bleiben hinter dem Mittelpuncte zurück und dadurch entsteht da eine Fluth, wo der Mond im Nadir ist; aber da zugleich die Sonne zweien Puncten, welche den Mond im Horizonte habe, im Zenith oder Nadir steht, so wird da das tiefe Fallen des Wassers gehindert und dadurch die Mondfluth geschwächt. — Die Betrachtung für den Mond im ersten Viertel läfst sich hiernach leicht anstellen.

14. Wenn man die Richtigkeit dieser Ansichten anerkennt, so wird man nun auch ferner leicht einräumen, dafs die Fluthen höher und eben deshalb auch die Ebben tiefer seyn müssen, wenn der Mond der Erde näher ist, weil die Ungleichheit der Einwirkung auf den Mittelpunct und auf den nächsten Punct offenbar geringer ist, wenn ihre Entfernungen vom Monde sich wie 61 zu 60, als wenn sie sich wie 59: 58 verhalten. Die gröfsere Höhe der Fluthen bei der Erdnähe des Mondes ist daher leicht zu erklären. Nicht ganz so leicht erhellet der Gruud, den jedoch die strengere Theorie deutlich nachweist[1], warum die Fluthen etwas höher sind, wenn der Mond, und noch mehr, wenn Sonne und Mond sich im Aequator befinden. Theorie und Erfahrung zeigen, dafs es so sey, und aus dem Grunde sind die Springfluthen um die Aequinoctien am höchsten, weil dann die Sonne im Aequator und der Mond nie weit vom Aequator ist.

Da Mond und Erde oder Sonne und Erde einander nicht ruhend gegenüber stehen, sondern die rotirende Erde in jedem Augenblicke einen andern Punct dem Monde oder der Sonne zuwendet, so kann sich das Wasser nie ganz dem Gleichgewichte gemäfs so um den Mittelpunct ordnen, wie wir es bisher annahmen. Ein Punct der Erde, der zum Beispiel beim Neumonde allmählig durch die Umdrehung dahin geführt wird,

---

1 Vergl. Nr. 19.

wo Sonne und Mond ihm im Zenith stehn, oder der nach und nach Sonne und Mond über seinem Horizonte herauf steigen sieht, leidet nach und nach eine immerstärker werdende Anziehung beider, und das Wasser in seiner Umgebung kommt also zum Steigen, wenn die Erde ganz mit Wasser umgeben ist oder wenigstens das Wasser um jenen Punct mit einem sehr ausgedehnten Meere in Verbindung steht. Dieser Antrieb zum Anschwellen des Wassers ist freilich am stärksten, wenn Mond und Sonne das Zenith dieses Ortes erreicht haben, aber da auch nachher noch die Kraft in wenig geschwächtem Maſse fortdauert und wegen mannichfaltiger Hindernisse die erreichte Höhe nie ganz dem gleich seyn kann, was erfolgen würde, wenn bei ruhender Erde das Wasser sich ganz ins Gleichgewicht setzte, so dauert das Anschwellen selbst im groſsen Ocean noch fort, wenn auch Mond und Sonne schon über das Zenith hinaus fortgerückt sind.

Diese Verspätung der Fluth, die aus dem eben bemerkten Grunde selbst im Ocean statt findet, ist nun noch merklicher in entlegenen Meeren, deren Zugänge eng sind oder zu denen die Fluth erst durch einen Umweg gelangen kann, wie schon oben bemerkt ist.

15. Daſs nur weit ausgedehnte Meere, nur solche, die mit dem groſsen Ocean in ziemlich freier Verbindung stehn, Fluth und Ebbe haben können, läſst sich aus dem Vorigen nun wohl leicht übersehen. Allerdings wird auch im Caspischen Meere die Schwere des Wassers um etwas vermindert, wenn Sonne und Mond sich dem Zenith nähern, aber da diese Verminderung für die ganze Ausdehnung dieses eng begränzten Meeres fast gleich ist, so bleibt die Oberfläche horizontal und nichts verräth jene Einwirkung. Erstreckt sich dagegen ein solches Meer bis in diejenigen Gegenden, wo der Mond in der Nähe des Horizonts steht, so ist es grade so, als ob in einer zweischenkligen Röhre im einen Schenkel eine leichtere Flüssigkeit, im andern eine schwerere ist, oder als ob in jenem die Flüssigkeit allmählig leichter geworden wäre; bekanntlich muſs diese leichtere Flüssigkeit höher stehen, um der an sich schwerern im andern Schenkel das Gleichgewicht zu halten, wären aber beide in gleichem Maſse leichter geworden, so würde der vorige gleichhohe Stand durch nichts gestört werden.

Theoretische Untersuchungen über die Ebbe und Fluth.

16. Wenn man auf die Rotation der Erde keine Rücksicht nimmt, sondern es so ansieht, als ob die Erde dem anziehenden Körper immer dieselbe Seite zukehre, so läfst sich leicht bestimmen, welche Gestalt die Erde, vermöge der auf sie einwirkenden beschleunigenden Kräfte annehmen müfste, wenn sie entweder ganz flüssig oder doch ganz mit Wasser bedeckt wäre.

Es ist bekannt, dafs die ganze Erde, wenn man sie als eine vereinigte Masse betrachtet, von dem Körper S so angezogen wird, als ob ihre ganze Masse im Mittelpuncte vereinigt wäre. Diese Attraction kann also, wenn der Abstand des Mittelpunctes der Erde vom Mittelpuncte des anziehenden Körpers SC = a ist, durch $\frac{f^2}{a^2}$ ausgedrückt werden, worin f eine durch die als bekannt angenommene Intensität der anziehenden Kraft gegebene Gröfse ist, welche bestimmt wird, indem man sie mit der Anziehung der Erde an ihrer Oberfläche oder der Schwere, als Einheit angenommen, vergleicht. Da wir hier blofs nach den Aenderungen der Gestalt fragen, welche die kugelförmige Erde vermöge jener Attraction erleidet, so kommt es nur auf die Differenz der auf jedes Theilchen und auf den Mittelpunct der Erde wirkenden Kräfte an, indem diejenigen Kräfte, welche die Erde in ihrer Bahn erhalten, allen Theilen der Erde gemeinschaftlich und gerade so grofs sind, als es der auf den Mittelpunct wirkenden Attractionskraft gemäfs ist. Fig. 4.

Es sey nun M ein Theilchen der Erde, dessen Coordinaten seyen CP = x, PM = y, so ist die auf dasselbe wirkende, gegen S ziehende beschleunigende Kraft

$$= \frac{f^2}{(a-x)^2 + y^2}.$$

Diese Kraft kann auf verschiedene Weise in zwei Seitenkräfte zerlegt werden, unter welchen Zerlegungen zwei zu unserm Zwecke passend sind. Die erste, wenn wir sie in eine mit CS parallele und in eine auf CS senkrechte zerlegen; die zweite, wenn wir sie in eine mit CS parallele und in eine nach der Richtung des Radius CM wirkende zerlegen. Die erste Zerlegung giebt folgende zwei Kräfte

1. mit CS parallel $= \frac{(a-x)f^2}{((a-x)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$

2. auf CS senkrecht $= \frac{y f^2}{((a-x)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$

oder da x, y ziemlich geringe in Vergleichung gegen a sind, so dafs man $\frac{1}{((a-x)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{1}{a^3} + \frac{3x}{a^4}$ setzen kann, so ist

1. jene Kraft $= \frac{f^2}{a^2} + \frac{2xf^2}{a^3}$

2. und diese $= \frac{yf^2}{a^3}$

Die zweite Zerlegung würde die Kraft

I. mit CS parallel $= \frac{af^2}{((a-x)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$.

II. mit CM parallel $= \frac{f^2\sqrt{(x^2+y^2)}}{((a-x)^2+y^2)^{\frac{3}{2}}}$

geben, und wegen der schon erwähnten Vereinfachung,

I. die mit CS parallele $= \frac{f^2}{a^2} + \frac{3f^2x}{a^3}$;

II. die mit CM parallele $= \frac{f^2\sqrt{(x^2+y^2)}}{a^3}$

Bei beiden Zerlegungen mufs die mit CS parallele Kraft aus den oben erwähnten Gründen um $\frac{f^2}{a^2}$ vermindert werden, weil wir nur allein den Unterschied der auf dem ganzen Erdkörper und der auf jedes einzelne Theilchen wirkenden Kraft anwenden dürfen, um die Aenderung der Figur zu finden. Also ist zuerst die in Betrachtung kommende Kraft zusammengesetzt aus einer Kraft (A) $= \frac{2xf^2}{a^3}$, nach CS, und einer Kraft (B) $= \frac{yf^2}{a^3}$, senkrecht auf CS, und zweitens ist sie auch zusammengesetzt aus einer Kraft (C) $= \frac{3f^2x}{a^3}$ nach CS und einer Kraft (D) $= \frac{f^2\sqrt{(x^2+y^2)}}{a^3}$ nach der Richtung MC.

17. Wir wollen die beiden letzten Kräfte (C) und (D)

zuerst betrachten und nun auch die nach MN gerichtete zerlegen in eine nach MQ und eine nach MR, wo nämlich MQ der verlängerte Radius, MR die Tangente ist. Diese Zerlegung der Kraft (C) giebt nach MQ . . . (C) Cos. MCP und nach MR . . . (C) Sin. MCP,

oder nach MQ die Kraft $= \frac{3 f^2 x^2}{a^3 \sqrt{(x^2 + y^2)}}$

nach MR die Kraft $= \frac{3 f^2 xy}{a^3 . \sqrt{(x^2 + y^2)}}$.

Jene strebt der (D) entgegen und die anziehende Kraft des Gestirnes vermehrt die gegen die Erde zu treibende Kraft um $\frac{f^2}{a^3} \left(\sqrt{(x^2 + y^2)} - \frac{3 x^2}{\sqrt{(x^2 + y^2)}} \right)$, die nach der Richtung der Tangente wirkende Kraft ist dagegen $= \frac{3 f^2 xy}{a^3 \sqrt{(x^2 + y^2)}}$.

Hier zeigt sich erstlich, dafs die gegen die Erde zu treibende Kraft positiv oder die Schwere des Theilchens vermehrend ist, wenn $y^2 > 2 x^2$ oder $y > x . \sqrt{2}$, das heifst für alle die Theilchen M, für welche der Winkel SCM $> 54°$ $45'$ ist; also für die zwischen F und H liegenden und eben so für die zwischen G und I liegenden Theilchen wird die Schwere vermehrt, für die in FG und in HI liegenden Theilchen vermindert.

Zweitens erhellet, dafs die in M nach der Tangente wirkende Kraft positiv ist, wenn x, y, beide positiv oder beide negativ sind, und negativ, wenn sie ungleiche Zeichen haben. Diese Tangentialkraft ist aber positiv, wenn sie den positiven Winkel MCS zu vermindern strebt, und negativ, wenn sie den positiven zu vermehren, den negativen zu vermindern strebt; also ist von A bis D ein Bestreben des Wassers gegen A, zu fliefsen, eine positive Kraft; von D bis B, wo x negativ, y positiv, eine negative Kraft oder ein Bestreben des Wassers gegen B hin zu strömen; von A bis E ist die Kraft negativ oder zu Verminderung des negativen Winkels ACG thätig, das ist, das Wasser hat in G ein Bestreben nach A zu, und endlich in dem Quadranten EB strebt es nach B hin. So lange also die Erde die Kugelgestalt hat, findet in der ganzen gegen S zugewandten Halbkugel ein Hindrängen nach A, und in der entgegengesetzten Halbkugel ein Hindrängen nach B

statt, und es erhellet also, dafs in A und B ein Anschwellen des Wassers entstehen wird, welches sich eben dadurch von D und E wegzieht, oder dort sinkt.

18. Aber welche Gestalt wird dann die Wasserschicht der Erde annehmen, und bei welcher Gestalt wird das Gleichgewicht hergestellt seyn? Wir wollen annehmen, x l y m sey diese längliche Gestalt: so wirken auf ein Theilchen M in der Oberfläche erstlich die Attraction des Erdkörpers selbt, und zweitens die beiden aus der Attraction des fremden Körpers hervorgehenden Kräfte. Die Oberfläche ist nach den Gesetzen der Hydrostatik im Gleichgewichte, wenn die aus jenen Kräften entspringende Mittelkraft senkrecht gegen die Oberfläche ist, und daraus läſt sich zeigen, dafs x l y m ein durch Umdrehung um x y entstandenes Sphäroid ist, dessen lange Axe die Umdrehungs-Axe und gegen den anziehenden Körper gerichtet ist.

Fig. 3.

Um den Beweis hiefür zu führen, müssen wir zuerst die Attraction kennen, welche ein solches Sphäroid selbst gegen jedes seiner Theilchen ausübt. Die Untersuchung über diesen Gegenstand kann hier nicht vollständig eingeschaltet werden; ich begnüge mich daher, die Hauptsätze, worauf es ankommt, mitzutheilen. I. Es erhellt leicht, dafs die Attraction des kleinen Kegels BAD auf den Punct A durch $\int \frac{dr. \pi \varphi^2 r^2}{r^2}$ ausgedrückt wird, wenn der als sehr klein angenommene Winkel BAD $= 2 \varphi$ und der Abstand irgend einer Schicht der Kegelmasse von A, $=$ r ist, also die Attraction dieser Kegelmasse ist ihrer Länge proportional $= \pi \varphi^2 . r$.

Fig. 5.

Fig. 6. II. Wenn auf der Oberfläche eines Sphäroids ADBE ein Punct M willkürlich angenommen wird, und man zieht Ma, MR mit den beiden Haupt-Axen des Axenschnittes, worin M liegt, parallel, so ist für jede zwei, unter gleichen Winkeln gegen MR gezeichnete gerade Linien ML, MK, die Summe dieser Linien ML + MK, gleich der Summe der mit ihnen parallelen Linien ak + al, welche von dem Puncte a in der Axe AB aus bis an den Umfang einer der Ellipse ADBE ähnlichen und ähnlich liegenden Ellipse sich erstrecken. — Dieser Satz wird aus der Betrachtung der Ellipse leicht erwiesen.

III. Die Attraction, die von der ganzen Linie MK oder einem sehr schmalen Kegel, dessen Axe MK und Spitze M ist,

auf M ausgeübt wird, giebt nach der Richtung MR eine Attraction $= \pi . \varphi^2 . MR$, [Vergl. Nr. 1] und die aus der Attraction der ML und MK entspringende Wirkung ist $= \pi\varphi^2 (MP + MR) = 2\pi\varphi^2 . ap$ (wobei nur noch zu bemerken ist, dafs wenn RML = KMR so grofs wird, dafs die innerhalb der Ellipse fallende Sehne nicht mehr auf ML, sondern auf der rückwärts gehenden Verlängerung liegt, MP als negativ vorkommt) — weil die ganze Attraction der MK oder des sie umgebenden kleinen Kegels mit Cos. KMR multiplicirt werden mufs, um die Wirkung nach MR zu erhalten.

IV. Denkt man sich nun ADBE und die dieser Ellipse ähnliche adbe um AB gedreht, und die so entstandenen Sphäroide durch irgend eine Ebene, die durch Ma geht, geschnitten, so läfst sich für jeden der so entstehenden Schnitte, die nämlich bei irgend einer Lage der Ebene ähnlich in dem kleinern und in dem gröfsern Sphäroid ausfallen, ein dem Satze II gleich lautender Satz beweisen, und es läfst sich nun wohl übersehn, dafs

V. die nach der Richtung MR wirkende gesammte Attraction des Sphäroids ADBE auf den Punct M genau so grofs ist, als die gesammte nach der Richtung ab wirkende Attraction des ähnlichen Sphäroids abde auf den Punct a; und genau eben so läfst sich

VI. zeigen, dafs die auf M wirkende mit DE parallele Wirkung der Attraction des Sphäroids ADBE eben so grofs ist, als die Attraction eines ähnlichen und ähnlich liegenden Sphäroids, dessen halbe mit DE parallele Axe cq = aM ist, auf den Punct q nach der Richtung qE seyn würde.

VII. Es ist also nur nöthig, die Attraction zu bestimmen, welche ein Sphäroid auf den Endpunct seiner Axe und auf einen Punct in der Oberfläche seines Aequators ausübt, und davon die eben angedeutete Anwendung zu machen.

VIII. Um zuerst die Attraction auf den Endpunct der Umdrehungs-Axe zu finden, stelle man sich von diesem aus bis zu dem anziehenden Theilchen, dessen Masse ich mit dM bezeichne, eine Linie gezogen vor, und bestimme die Lage dieses Theilchens durch die Länge $= r$ dieser Linie, durch den Winkel $= \varphi$, den sie mit der Axe macht, und den Winkel $= \psi$, der die Stelle des Theilchens auf einem um die Axe gezognen Parallelkreise angiebt. Dann sind die

drei auf einander senkrechten Dimensionen des Theilchens $r d\varphi$, r Sin. φ. $d\psi$ und dr, und da die auf jenen Punct ausgeübte Attraction dem Quadrate des Abstandes umgekehrt proportional ist, so haben wir jenes Theilchens Attraction $= \frac{r^2\, d\varphi.\ d\psi.\ dr.\ \text{Sin.}\,\varphi,}{r^2}$ und das richtig genommene Integral der Formel $d\psi.\ dr.\ d\varphi.$ Sin. φ. ist der Ausdruck für die gesammte Attraction. Aber wir verlangen hier nur die Wirkung der Attraction nach der Richtung der Axe, die $= d\psi.\ dr.\ d\varphi.$ Cos. φ. Sin. φ ist; und diese Formel giebt durch zweimalige Integration, wenn man das auf ψ sich beziehende Integral von $\psi = 0$ bis $\psi = 2\pi$ nimmt,

$$2\pi\ r.\ d\varphi.\ \text{Sin.}\,\varphi.\ \text{Cos.}\,\varphi.$$

Damit aber dies Integral sich bis an die Grenze des Sphäroids erstrecke, muſs es von $r = 0$ bis $r = \frac{2\,a\,b^2\ \text{Cos.}\,\varphi}{a^2 - (a^2 - b^2)\ \text{Cos.}^2\,\varphi}$ genommen werden, indem dies der Werth von r für die ganze Sehne der Ellipse ist, wenn a die halbe Axe, b den halben Durchmesser des Aequators bedeutet.

Also jene Attraction $= \int \frac{-4\pi\ a\,b^2\ \text{Cos.}^2\varphi.\ d.\ \text{Cos.}\,\varphi}{a^2 - (a^2 - b^2)\ \text{Cos.}^2\varphi}$

$$= \int \frac{4\pi\ a\ b^2}{a^2 - b^2}\, d.\,\text{Cos.}\,\varphi - \int \frac{4\pi\,a^3\,b^2}{a^2 - b^2}\ \frac{d.\ \text{Cos.}\,\varphi}{a^2 - (a^2 - b^2)\,\text{Cos.}^2\varphi}$$

$$= \frac{+4\pi a b^2\,\text{Cos.}\,\varphi}{a^2 - b^2} - \frac{2\pi\ b^2}{e^3 a}\ \log.\ \frac{1 + e\ \text{Cos.}\ \varphi}{1 - e\ \text{Cos.}\ \varphi},$$

$= \frac{-4\pi b^2}{a.\ e^2} + \frac{2\pi\ b^2}{a\ e^3}\ \log.\ \frac{1 + e}{1 - e}$, weil das Integral von $\varphi = 0$ bis $\varphi = 90°$ genommen werden muſs. Uebrigens bedeutet $e = \frac{\sqrt{(a^2 - b^2)}}{a}$ die Excentricität.

IX. Um die Attraction gegen einen Punct in der Oberfläche des Aequators zu finden, wollen wir uns durch diesen Punct zwei Ebenen gelegt denken, eine durch die Hauptaxe des Sphäroids und eine zweite unter dem Winkel ψ gegen diese geneigt mit der Axe parallel. Es läſst sich leicht zeigen, daſs beim Sphäroid der Schnitt, den diese letztere Ebene bildet, dem Schnitte durch die Axe ähnlich ist, und daſs seine in der Ebene des Aequators liegende Axe $=$ 2 b Cos. ψ, die mit der Umdrehungs-Axe parallele Axe $=$ 2 a Cos. ψ ist. Ein Theilchen dieser Ebene kann, wenn r den

Abstand von jenem angezognen Puncte in des Aequators Oberfläche ausdrückt und φ den Winkel, den dieser Radius mit der Ebene des Aequators macht, durch dr. r$d\varphi$ ausgedrückt werden, und wenn man den Winkel ψ um $d\psi$ verändert, so wird die Lage dieses Theilchens um r Cos. φ. $d\psi$ geändert, welches daher die dritte Dimension des anziehenden Theilchens, und dieses selbst $= r^2 dr.\, d\psi.\, d\varphi.\, \text{Cos.}\, \varphi$ giebt, die Attraction aber $= \frac{r^2\, dr.\, d\psi.\, d\varphi.\, \text{Cos.}\, \varphi}{r^2}$, und diese gesammte Attraction zerlegt, giebt parallel mit dem Radius, der von dem angezogenen Puncte nach dem Mittelpuncte geht, eine Kraft $= dr.\, d\psi.\, d\varphi.\, \text{Cos.}\, \varphi.\, \text{Cos.}\, \psi.\, \text{Cos.}\, \varphi$, deren Integral auf den ganzen Körper erstreckt das ist, was wir suchen.

Die Ellipsen, deren eine, unter dem Winkel ψ gegen den Axenschnitt geneigt, wir betrachten, haben eine kleinere halbe Axe $= b\, \text{Cos.}\, \psi$ und die gröfsere halbe Axe $= a\, \text{Cos.}\, \psi$; da aber die Abstandslinien $= r$ jetzt vom Ende der kleinern Axe ausgehen, so ist $r = \frac{2a^2 b\, \text{Cos.}\, \varphi\, \text{Cos.}\, \psi}{b^2 \text{Sin.}^2 \varphi + a^2 \text{Cos.}^2 \varphi}$ oder $r = \frac{2\, b\, \text{Cos.}\, \varphi\, \text{Cos.}\, \psi}{1 - e^2\, \text{Sin.}^2 \varphi}$, der Werth der Sehne, und das erste Integral der Formel $dr.\, d\varphi.\, d\psi.\, \text{Cos.}^2 \varphi\, \text{Cos.}\, \psi$ ist also $= \frac{2b\, d\varphi.\, d\psi.\, \text{Cos.}^3 \varphi.\, \text{Cos.}^2 \psi}{1 - e^2\, \text{Sin.}^2 \varphi}$; das zweite in Beziehung auf ψ, von $\psi = 0$ bis $\psi = \pi = 180°$ genommen, ist

$$= \frac{b\pi\, d\varphi.\, \text{Cos.}^3 \varphi}{1 - e^2\, \text{Sin.}^2 \varphi} = \frac{b\pi.\, d\,\text{Sin.}\, \varphi\, (1 - \text{Sin.}^2 \varphi.)}{1 - e^2\, \text{Sin.}^2 \varphi}$$

oder $= b\pi \left\{ \frac{d.\, \text{Sin.}\, \varphi}{e^2} - \frac{1-e^2}{e^2} \frac{d\, \text{Sin.}\, \varphi}{1 - e^2\, \text{Sin.}^2 \varphi} \right\}$ wovon das Integral ist $b\pi. \left\{ \frac{\text{Sin.}\, \varphi}{e^2} - \frac{1-e^2}{2e^3} \log. \frac{1 + e\, \text{Sin.}\, \varphi}{1 - e\, \text{Sin.}\, \varphi} \right\}$ welches von $\varphi = -90°$ bis $\varphi = +90°$ genommen, endlich giebt die Attraction

$$= \frac{b\pi}{e^2} \left(2 - \frac{1-e^2}{e} \log. \left(\frac{1+e}{1-e} \right) \right)$$ als Attraction am Aequator.

X. Die Attraction wird hier linearisch ausgedrückt, weil wir sie für jedes Theilchen $= \frac{dM}{r^2}$ gesetzt haben; nach eben dieser

Art des Ausdruckes würde die ganze Schwere an der Oberfläche der kugelförmigen Erde, deren Halbmesser = R ist, durch $\frac{4}{3} \frac{\pi R^3}{R^2}$ ausgedrückt seyn, und da wir diese als Einheit ansehn, so müssen jene Ausdrücke noch mit $\frac{4}{3} \pi R$ dividirt werden. Dadurch erhalten wir für ein Theilchen, dessen mit der Axe parallele Ordinate = x, die auf sie senkrechte Ordinate = y ist (nach Nr. VI.) die mit der Axe parallele

$$\text{Attraction} = \frac{3(1-e^2)x}{R.\ e^2} \left\{ -1 + \frac{1}{2e} \log. \frac{1+e}{1-e} \right\};$$

die mit dem Aequator parallele Attraction

$$= \frac{3y}{4Re^2} \left\{ 2 - \frac{1-e^2}{e} \log. \frac{1+e}{1-e} \right\}.$$

Da nun jene, wie aus Nr. 16. erhellt, um $\frac{2f^2x}{a^3}$ vermindert, diese um $\frac{f^2y}{a^3}$ vermehrt wird durch die Einwirkung des anziehenden Gestirns, so ist es die aus

$$x \left\{ -\frac{3(1-e^2)}{Re^2} + \frac{3}{2} \frac{(1-e^2)}{Re^3} \log. \frac{1+e}{1-e} - \frac{2f^2}{a^3} \right\} \text{ und}$$

$$y \left\{ \frac{3}{2Re^2} - \frac{3}{4} \frac{(1-e^2)}{Re^3} \log. \frac{1+e}{1-e} + \frac{f^2}{a^3} \right\}$$

entstehende Mittelkraft, die auf die Oberfläche senkrecht seyn muſs, damit das Gleichgewicht bestehe. Nenne ich σ den Winkel, den diese Mittelkraft mit der Axe x macht, so ist

$$\text{Tang.}\sigma = \frac{x}{y} \left\{ \frac{+3e - \frac{3}{2}(1-e^2)\log.\left(\frac{1+e}{1-e}\right) + \frac{2f^2Re^3}{a^3}}{-6(1-e^2)e + 3(1-e^2)\log.\left(\frac{1+e}{1-e}\right) - \frac{4f^2Re^3}{a^3}} \right\}$$

In einem Sphäroid aber ist der Winkel der Normallinie mit der Axe durch Tang. $\sigma = \frac{y}{(1-e^2)x}$ bestimmt, und diese Winkel müssen also gleich seyn, wenn ein Sphäroid von der Excentricität = e die zum Gleichgewicht erforderliche Figur ist.

XI. Bekanntlich ist $\log. \frac{1+e}{1-e} = 2(e + \frac{1}{3}e^3 + \frac{1}{5}e^5 + ..)$ also der Zähler des ersten Werthes von Tang. σ ist = $y\left(2e^3 + \frac{4}{5}e^5 + \frac{2f^2R.\ e^3}{a^3}\right)$, der Nenner des ersten

Werthes $= x\left(2e^3 - \frac{4}{5}e^5 - \frac{4f^2Re^3}{a^3}\right)$.

Es muſs also $\frac{1}{1-e^2} = \frac{1+\frac{1}{5}e^2+\frac{f^2R}{a^3}}{1-\frac{3}{5}e^2-\frac{2f^2R}{a^3}}$ seyn,

oder $e^2 = \frac{15}{2}\frac{f^2R}{a^3}$.

Da R hier den mittlern Halbmesser der Erde, a den Abstand des anziehenden Gestirns bedeutet, so ist, wenn ich unter A die halbe lange Axe verstehe unter $B = A\sqrt{(1-e^2)}$ den Halbmesser des auf sie senkrechten gröſsten Kreises, $R = \frac{A}{2}\left(1+\sqrt{(1-e^2)}\right)$ und $A^2e^2 = A^2 - B^2$, $\frac{A^2e^2}{A+B} = A - B = \frac{A^2e^2}{2R}$, daher $A - B = \frac{15}{4}\frac{f^2A^2}{a^3}$.

XII. Will man hieraus die Höhe der durch die Sonne bewirkten Fluth finden, so ist für eine kugelförmige Erde vom Halbmesser $= A = 19597962$ Fuſs, weil $\frac{f^2}{A^2} =$ der Masse der Sonne gleich 354790, $\frac{A}{a} = 0{,}000041585$ ist, $A - B = 1{,}875$ Paris. Fuſs, als Intervall der höchsten Fluth der Ebbe für die Wirkung der Sonne.

Für den Mond ist $\frac{f^2}{A^2} =$ ungefähr $\frac{1}{70}$, $\frac{A}{a} = \frac{1}{60{,}296}$, also $A - B = 4{,}81$ Fuſs.

Die vereinigten Fluthen des Mondes und der Sonne bei den Syzygien würden also 6,69 Fuſs; die Fluthen bei den Quadraturen kaum 3 Fuſs betragen.

19. Diese Betrachtungen reichen offenbar hin, die Verschiedenheit der Fluthhöhe bei der Erdnähe und Erdferne des Mondes, auch die Zeit und Höhe der Fluth bei der vereinten Wirkung von Sonne und Mond, wenn sie in verschiedenen Puncten des Himmels stehen, herzuleiten, so weit dies nämlich der Voraussetzung, daſs das Wasser sich völlig ins Gleichgewicht stelle, gemäſs ist. Ich will hiebei nicht verweilen, sondern nur noch den oben unerklärt gelassenen Umstand berühren, warum die Fluthen am gröſsesten sind, wenn der anziehende Himmelskörper im Aequator steht. Auf die wegen

der Rotation statt findende Abweichung der Erde von der Kugelgestalt wird auch hier nicht gesehen, sondern ADBE stellt das Sphäroid vor, so wie die Attraction des Mondes es bestimmt. Ist nun hier NO die Ebene des Aequators, so hat O die höchste Fluth dann, wenn der Mond im Zenith des Ortes D steht, aber da auch der auf die Ebene der Figur senkrechte Halbmesser der Erde = CA ist, so ist der gröſseste Halbmesser des Erd-Aequators = CO, der kleinste = CA, und das Intervall zwischen Fluth und Ebbe = CO — CA, welches, da

Fig. 7.

$$CO = \frac{A \sqrt{(1 - e^2)}}{\sqrt{(1 - e^2)\,Cos.^2 d}} =$$

$= A\,(1 - \frac{1}{2}\,e^2\,Sin.^2\,d)$, gesetzt werden kann und $CA = A\sqrt{(1 - e^2)} = A\,(1 - \frac{1}{2}\,e^2)$ ist, in $CO - CA = A.\,\frac{1}{2}\,e^2\,Cos.^2\,d$ übergeht.

Die Fluthhöhe ist also unter dem Aequator dem Quadrate vom Cosinus der Declination des Gestirns proportional. Aber auch für andere geographische Breiten gilt eine ähnliche Bestimmung. Deutet nämlich o n einen mit dem Aequator parallelen Schnitt an, so ist dieser eine Ellipse, die dem Aequator ON ähnlich ist, aber im Verhältniſs des Cosinus der Breite kleiner, der gröſste Halbmesser dieses Schnitts ist also $= A\,Cos.\,\beta.\,(1 - \frac{1}{2}\,e^2\,Sin.^2\,d)$, der kleinste $= A\,Cos.\,\beta.\,(1 - \frac{1}{2}\,e^2)$, und da nicht der Unterschied dieser Halbmesser $= \frac{A\,Cos.\,\beta}{2}\,e^2\,Cos.^2\,d$ die Fluthhöhe bestimmt, sondern dieser Unterschied noch mit dem Cosinus der Neigung gegen die Verticallinie multiplicirt wird, also o r = o m. Cos. β seyn würde, wenn o m $= \frac{A\,Cos.\beta}{2}\,e^2\,Cos.^2\,d$ = jenem Unterschiede ist, so ist offenbar die Fluthhöhe in der geographischen Breite $= \beta$

$$= \frac{A\,e^2\,Cos.^2\,\beta.\,Cos.^2\,d}{2},$$ wenn des Mondes Declination $= d$ ist.

Eben das gilt für die Sonne.

Diese Formel zeigt erstlich, daſs die Fluth gegen die Pole der Erde abnimmt, und zweitens, daſs um die Zeit der Aequinoctien, wo beim Neumond und Vollmond beide Himmelskörper dem Aequator nahe sind, die Springfluthen höher steigen, als zu andern Jahreszeiten.

20. Obgleich nun diese Untersuchungen, so wie sie hier angedeutet und von Bernoulli, Maclaurin und Euler schon in der Mitte des vorigen Jahrhundert durchgeführt sind, in den Hauptsachen eine genügende Erklärung darzubieten schienen, so sind doch die Mathematiker in dem, was sie Erklärung einer Naturerscheinung nennen, zu strenge, als daſs sie für immer hierbei hätten stehen bleiben sollen. Eine Erscheinung ist erst dann *vollständig* erklärt, wenn dabei erstlich *alle* mitwirkende Umstände genau der Natur gemäſs in Betrachtung gezogen sind, und wenn sich dann zweitens die in genauen Zahlen gegebenen Beobachtungen auch dem Maſse nach mit der Theorie einstimmig zeigen. Laplace fand es daher mit Recht nothwendig, auf den Umstand, daſs der Zustand des Gleichgewichts nie erreicht wird, sondern die Ebbe und Fluth in steten Oscillationen besteht, Rücksicht zu nehmen, und die so berichtigte Theorie erst mit der Erfahrung zu vergleichen. Diese Theorie hier ganz mitzutheilen, überschreitet nun zwar bei weitem die Grenzen der gegenwärtigen Darstellung; indeſs glaube ich doch den kundigen Lesern einen Blick auf die Hauptzüge dieser Theorie nicht vorenthalten zu dürfen, und ich will es wagen, eine Andeutung dieser Hauptzüge zu versuchen. Auch sie ist noch nicht eine durchaus vollendete; aber sie enthält Hindeutungen auf alles das, was man bei Vergleichung zahlreicher und sehr genauer Beobachtungen vielleicht künftig zu berücksichtigen nothwendig finden wird.

21. Jedem, der sich nur etwas mit der höheren Hydrodynamik beschäftiget hat, sind die Differentialgleichungen

$$P\delta x + Q\delta y + R\delta z - \delta p =$$

$$\delta x\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right) + \delta y\left(\frac{d^2y}{dt^2}\right) + \delta z\left(\frac{d^2t}{dt^2}\right),$$

und $0 = \left(\frac{du}{dx}\right) + \left(\frac{dv}{}\right) + \left(\frac{dw}{dt}\right)$ bekannt[1], welche alle Bewegungen flüssiger Körper von unveränderlicher Dichtigkeit $= 1$, umfassen. Hier ist die Lage jedes Theilchens durch drei, auf einander senkrechte Coordinaten x, y, z, angegeben, u, v, w sind die am Ende der Zeit $= t$

1 Ich habe hier ganz Laplace's Bezeichnungen im 4. Buch d. méc. cél. beibehalten.

statt findenden, diesen drei Coordinaten parallelen Geschwindigkeiten, also $u = \left(\frac{dx}{dt}\right)$, $v = \left(\frac{dy}{dt}\right)$, $w = \left(\frac{dz}{dt}\right)$; P, Q, R, sind die nach diesen drei Richtungen wirkenden beschleunigenden Kräfte; da aber in allen in der Natur vorkommenden Fällen $P\delta x + Q\delta y + R\delta z$, eine integrable Formel ist, so setzen wir dafür δV und bemerken, daſs δV aus der Summe derjenigen Producte besteht, welche wir erhalten, wenn jede Kraft in das Differential ihrer Richtung multiplicirt wird; endlich ist p der Druck, den eben jenes Theilchen leidet.

Die Bezeichnung δ ist hier von dem d deswegen verschieden, weil die letztere sich auf ein und dasselbe Theilchen, welches wir im Laufe der Zeit gleichsam verfolgen, bezieht, jene Bezeichnung hingegen den Uebergang auf andre Theilchen andeutet.

Um diese Formeln auf die Schwankungen des Meeres anzuwenden, führt man sie besser auf drei neue veränderliche Gröſsen r, ϑ, π zurück, deren erste der Abstand vom Schwerpuncte der Erde ist, welcher zugleich der Anfangspunct der x, y, z, war, die zweite ϑ giebt den Winkel an, welchen dieser Radius r mit der Axe der x macht, und π ist der Winkel, den eine durch r und die Axe der x gelegten Ebene mit der durch die Axe der x und die Axe der y gelegten Ebene macht.

Wenn die Erde eine Rotation um die Axe der x hat, so würde π sich schon deshalb im Laufe der Zeit ändern, wenn auch keine Bewegung in dem Fluido vorginge, und da die Rotationsbewegung gleichförmig ist, ginge der Werth von π, der für den Anfang der Zeit t galt, in $nt + \pi$ über; hier aber, wo von Schwankungen des Flüssigen, jedoch nur von Schwankungen, die gegen die ganze Gröſse der Erde geringe sind, die Rede ist, gehen die anfänglichen Werthe r, ϑ, π, im Laufe der Zeit in $(r + \alpha s)$; $(\vartheta + \alpha u)$; $(\pi + nt + \alpha v)$ über, und hier ist α so klein, daſs man seine höheren Potenzen weglassen darf. Hier erhellt nun leicht, daſs

$$x = (r + \alpha s)\,\mathrm{Cos.}\,(\vartheta + \alpha u),$$
$$y = (r + \alpha s)\,\mathrm{Sin.}\,(\vartheta + \alpha u).\,\mathrm{Cos.}\,(nt + \pi + \alpha v),$$
$$z = (r + \alpha s)\,\mathrm{Sin.}\,(\vartheta + \alpha u)\,\mathrm{Sin.}\,(nt + \pi + \alpha v),$$

ist, und man findet δx, δy, δz, indem man bloſs r, ϑ, π als veränderlich ansieht, die in Beziehung auf t genommenen

Differentiale aber, indem man bloſs s, u, v als veränderlich ansieht. So wird, wenn man die in α^2 multiplicirten Glieder wegläſst, $\delta x = \delta\vartheta\,[(-r-\alpha s)\ \text{Sin.}\,\vartheta - \alpha r v\ \text{Cos.}\,\vartheta] + \delta r\,[\text{Cos.}\,\vartheta - \alpha u\ \text{Sin}\,\vartheta]$; und so ferner.

Aber da wir unsere Betrachtungen sogleich bloſs auf die Oberfläche beziehen werden, und für diese r beinahe constant ist, so können wir δr als $= 0$ werdend ansehen, und erhalten durch eine etwas lange, aber gar nicht schwierige Rechnung

$$\left.\begin{aligned}&\alpha r^2 \delta\vartheta \left\{\left(\frac{d^2 u}{d t^2}\right) - 2\,n\ \text{Sin.}\,\vartheta\ \text{Cos.}\,\vartheta \left(\frac{d v}{d t}\right)\right\}\\ &+\alpha r^2 \delta\pi \left\{\text{Sin.}^2\vartheta \left(\frac{d^2 v}{d t^2}\right) + 2\,n.\ \text{Sin.}\,\vartheta.\ \text{Cos.}\,\vartheta \left(\frac{d u}{d t}\right) + \frac{2\,n.\ \text{Sin.}^2\,\vartheta}{r}\left(\frac{d s}{d t}\right)\right\}\\ &= \frac{n^2}{2}\,\delta.\left\{(r+\alpha s)^2\ \text{Sin.}^2(\vartheta+\alpha u)\right\} + \delta V - \frac{\delta p}{\varrho}\end{aligned}\right\}\ \text{L.}$$

Da diese Gleichung sich auf die Oberfläche beziehen soll, so ist $\delta p = 0$, weil alle Theilchen, die sich an der Oberfläche befinden, gar keinen Druck leiden, also in Beziehung auf sie auch keine Ungleichheit des Druckes statt findet. Ferner würden beim Zustande des Gleichgewichts alle vor dem Gleichheitszeichen stehenden Glieder wegfallen, da im Gleichgewichte die von der Zeit abhängigen Aenderungen gar nicht vorkommen, und folglich ist, wenn (δV) denjenigen Werth anzeigt, den δV beim Gleichgewichte hat, der nach dem Gleichheitszeichen stehende Theil $= \delta V - (\delta V)$, und dieser läſst sich noch näher angeben, da δV nur dadurch von (δV) verschieden ist, daſs erstlich die Schwere etwas anders einwirkt, wenn die Oberfläche sich um etwas Geringes $= \alpha y$ über den natürlichen. Zustand erhebt, und zweitens fremde Kräfte, zum Beispiel die Attraction der Sonne und des Mondes einwirken. Da δV die Summe der Producte aus jeder Kraft in das Differential ihrer Richtung ausdrückt, so kommt wegen der Einwirkung der Schwere, deren Kraft $= g$ sey, ein Glied $= - g\delta r$ vor, so lange das Theilchen an der Oberfläche in der Entfernung $= r$ war, oder beim Gleichgewichte, und dieses Glied geht in $- g\,(\delta r + \alpha\delta y)$ über, wenn bei der Bewegung das Theilchen in die Entfernung $r + \alpha y$ rückt[1],

[1] An der Oberfläche ist also y das, was vorhin s hieſs.

und wenn man die aus der Einwirkung fremder Anziehungen entspringenden Glieder $= \alpha\delta V'$ setzt, so ist $\delta V - (\delta V) = - \alpha g \delta y + \alpha \delta V'$.

Diese Betrachtungen verbunden mit der Bemerkung, dafs das Glied, worin $\left(\frac{ds}{dt}\right)$ vorkommt, wegfallen kann, giebt daher für die Oberfläche folgende erste aus der Wirkung der Kräfte hergeleitete Gleichung

$$\left.\begin{array}{l} r^2 \,\delta\vartheta \left\{\left(\frac{d^2u}{dt^2}\right) - 2\,n \,\mathrm{Sin.}\,\vartheta \,\mathrm{Cos.}\,\vartheta.\left(\frac{dv}{dt}\right)\right\} \\ + \, r^2 \,\delta\pi \left\{\mathrm{Sin.}^2\,\vartheta.\left(\frac{d^2u}{dt^2}\right) + 2n \,\mathrm{Sin.}\,\vartheta.\mathrm{Cos}\,\vartheta\left(\frac{du}{dt}\right)\right\} \\ = - g\delta y + \delta V'. \end{array}\right\} M.$$

Die zweite im Anfange angeführte Gleichung beruht auf der Ueberlegung, dafs im Fortrücken des Theilchens seine Masse ungeändert bleibt. Diese Masse hat bei der anfänglichen durch r, ϑ und π bestimmten Lage die drei Dimensionen dr, $r d\vartheta$, $r d\pi \,\mathrm{Sin.}\,\vartheta$, oder ist $= r^2\, dr.\, d\vartheta.\, d\pi \,\mathrm{Sin.}\,\vartheta$; im Fortgange der Zeit ist sie also den frühern Bezeichnungen gemäfs in $(\mathrm{Sin.}\,\vartheta + \alpha u \,\mathrm{Cos.}\,\vartheta)\,(r^2 + 2\,r\alpha s)\,(dr + \alpha ds)\,(d\vartheta + \alpha du)\,(d\pi + \alpha dv)$ übergegangen, welches, da die höhern Glieder wegbleiben $= r^2 \,\mathrm{Sin.}\,\vartheta.\, dr.\, d\vartheta.\, d\pi$

$$+ \alpha \left\{ \begin{array}{l} 2\,rs \,\mathrm{Sin.}\,\vartheta.\, d\vartheta.\, dr.\, d\pi + r^2 \,\mathrm{Sin.}\,\vartheta\, d\vartheta.\, ds\, d\pi \\ + r^2 \,\mathrm{Sin.}\,\vartheta\, dr.\, du.\, d\pi + r^2 \,\mathrm{Sin.}\,\vartheta.\, d\vartheta.\, dr.\, dv \\ + r^2 \,\mathrm{Cos.}\,\vartheta.\, u d\vartheta.\, dr.\, d\pi \end{array} \right\},$$

ist, und also $0 = \frac{d.r^2 s}{dr} + r^2 \left\{\left(\frac{du}{d\vartheta}\right) + \left(\frac{dv}{d\pi}\right) + \frac{u \,\mathrm{Cos.}\,\vartheta}{\mathrm{Sin.}\,\vartheta}\right\}$ als zweite Gleichung für die Bewegung giebt.

Auch das in Beziehung auf r genommene Integral dieser Gleichung wird also eine gegenseitige Bestimmung der vorkommenden Gröfsen geben; und bei dieser Integration können u und y als constant angesehen werden, weil sich zeigen läfst[1], dafs die Theilchen, die sich auf einem gewissen Erdhalbmesser befinden, sich auch bei den hier zu betrachtenden Schwankungen fortwährend auf einerlei Halbmesser befinden.

---

1 Laplace gegen das Ende des 36. §. im I. Buch.

Dieses Integral wird demnach

$$C = r^2 s + \tfrac{1}{3} r^3 \left\{ \left(\frac{du}{d\vartheta}\right) + \left(\frac{dv}{d\pi}\right) + \frac{u \operatorname{Cos.} \vartheta}{\operatorname{Sin.} \vartheta} \right\}$$

und wenn $r = R$ ist, für den Boden des Meeres, und dort $r^2 s = R^2 (s)$ wird, so ist $C = R^2 (s) + \tfrac{1}{3} R^3 \left\{ \left(\frac{du}{d\vartheta}\right) + \left(\frac{dv}{d\pi}\right) + \frac{u \operatorname{Cos.} \vartheta}{\operatorname{Sin.} \vartheta} \right\}$.
Das Integral erhält seinen vollen Werth an der Oberfläche, wo $r = R + \gamma$ ist, wenn γ die Tiefe des Meeres anzeigt, der volle Werth ist also

$$0 = r^2 s - R^2 (s) + R^2 \gamma \left\{ \left(\frac{du}{d\vartheta}\right) + \left(\frac{dv}{d\pi}\right) + \frac{u \operatorname{Cos.} \vartheta}{\operatorname{Sin.} \vartheta} \right\}.$$

Da ferner $r^2 s - R^2 (s) = R^2 s + 2 R \gamma s - R^2 (s)$ ist, und das Glied $2 R \gamma s$ wegbleiben kann, weil die Tiefe des Meeres $= \gamma$ sehr klein gegen R und auch s sehr klein ist, so haben wir $r^2 s - (r^2 s) = R^2 \big(s - (s)\big)$; und da R in $R + \alpha (s)$; $R + \gamma$ in $R + \gamma + \alpha s$, übergeht, wie aus den mit diesen Zeichen verknüpften Begriffen erhellet, so ist $\gamma + \alpha \big(s - (s)\big)$ die im Verlaufe der Zeit t veränderte Tiefe des Meeres. Da nun die Anfangs durch r, ϑ, π bestimmten Theilchen so fortgerückt sind, daſs ihre Lage jetzt durch $r + \alpha s$, $\vartheta + \alpha u$, $\pi + \alpha v$ angegeben wird, (wenn gleich u, v, als unabhängig von r angesehen werden konnten) so sind die Theilchen in eine Stelle gerückt, wo schon Anfangs

$$\gamma \ldots \text{den Werth} = \gamma + \alpha u \left(\frac{d\gamma}{d\vartheta}\right) + \alpha v \left(\frac{d\gamma}{d\pi}\right)$$

hatte, also schon damals $\alpha \big(s - (s)\big) = \alpha \left(u \left(\frac{d\gamma}{d\vartheta}\right) + v \left(\frac{d\gamma}{d\pi}\right) \right)$

war; da nun aber die Erhebung der Oberfläche vermöge der Schwankungen $= \alpha y$ war, so ist der jetzige wahre Werth von $\alpha \big(s - (s)\big) = \alpha \left\{ y + u \left(\frac{d\gamma}{d\vartheta}\right) + v \left(\frac{d\gamma}{d\pi}\right) \right\}$ und daher der oben gefundene volle Werth des Integrals

$$y = -\left(\frac{d.\gamma u}{d\vartheta}\right) - \left(\frac{d.\gamma v}{d\pi}\right) - \frac{\gamma u \operatorname{Cos.} \vartheta}{\operatorname{Sin.} \vartheta}$$

und diese Gleichung (N), muſs also nebst der obigen (M) den ferneren Untersuchungen zur Grundlage dienen[1]. Sie gelten

---

1 Die Gründe, warum (M) auch für die innern Theilchen gilt, muſs man bei Laplace I. §. 36. gegen das Ende nachsehn.

noch allgemein für alle kleine Schwankungen eines den Kern der kugelförmigen Erde nicht sehr tief bedeckenden Meeres.

22. Um sie auf die Oscillationen anzuwenden, welche durch die Attraction anderer Weltkörper hervorgebracht werden, müssen wir den Werth des Gliedes $\alpha \delta V'$ entwickeln.

Dieser besteht theils aus der Wirkung der entfernten anziehenden Gestirne, theils aus der Attraction der Wasserschicht selbst, deren Höhe durch αy ausgedrückt ist.

Wenn des Theilchens geographische Länge $= \pi$, also des an diesem Orte culminirenden Punctes Rectascension $= nt + \pi$, wenn des Theilchens geographische Breite $= 90° - \vartheta$ ist, und v bedeutet die Declination, ψ die Rectascension des Gestirns, dessen Abstand vom Mittelpuncte der Erde $= \varrho$ ist, statt dafs des Theilchens Entfernung $=$ r ist, so erhellet leicht, dafs die drei Coordinaten beider Puncte folgende sind:

$$\varrho \text{ Sin. } v;\ \varrho \text{ Cos. } v. \text{ Cos. } \psi;\ \varrho \text{ Cos. } v. \text{ Sin. } \psi; \text{ und}$$
$$r \text{ Cos. } \vartheta;\ r \text{ Sin. } \vartheta \text{ Cos. } (nt + \pi);$$
$$r \text{ Sin. } \vartheta. \text{ Sin. } (nt + \pi).$$

Der Abstand des anziehenden Körpers von dem angezogenen Theilchen ist also

$$= \sqrt{\left\{(\varrho \text{Sin.} v - r \text{Cos.} \vartheta)^2 + (\varrho \text{Cos.} v \text{Cos.} \psi - r \text{Sin.} \vartheta \text{Cos.} (nt + \pi))^2 + (\varrho \text{ Cos.} v \text{ Sin.} \psi - r \text{ Sin.} \vartheta \text{ Sin.} (nt + \pi))^2\right\}};$$

$$= \sqrt{\left\{\varrho^2 - 2r\varrho[\text{Sin.} v \text{ Cos.} \vartheta + \text{Cos.} v. \text{Sin.} \vartheta \text{ Cos.} (nt + \pi - \psi)] + r^2\right\}},$$

und wenn dieser Abstand $=$ f, die Masse des Körpers $=$ L ist, so ist die unmittelbare Einwirkung auf das Theilchen $= \frac{L}{f^2}$, und der daraus hervorgehende Theil von $\alpha \delta V'$ ist $= \frac{-L df}{f^2} = + L. d \frac{1}{f}$. Aber da blofs die relative Bewegung gegen den Mittelpunct der Erde gesucht wird, so mufs die auf den Mittelpunct wirkende Kraft, in entgegengesetzter Richtung angebracht, jener Kraft hinzugefügt werden. Diese findet man, wenn man die auf den Mittelpunct wirkende Kraft $= \frac{L}{\varrho^2}$ nach den Richtungen der drei Coordinaten zerlegt an dem Theilchen anbringt, und mit dem Differential ihrer Richtungen multiplicirt; diese Zerlegung giebt

$\frac{L}{\varrho^2}$ Sin. v; $\frac{L}{\varrho^2}$ Cos. v Cos. ψ;

$\frac{L}{\varrho^2}$ Cos. v. Sin. ψ, und

$$\frac{L}{\varrho^2}\left\{\text{Sin. v. }\delta x + \text{Cos. v. Cos. }\psi.\ \delta y + \text{Cos. v. Sin. }\psi.\ d z\right\}$$

welches =

$$= \frac{L r}{\varrho^2}\ \delta\ \left\{\text{Const.} + \text{Sin. v. Cos.}\vartheta + \text{Cos. v Cos.}\psi\text{ Sin }\vartheta\text{ Cos.}(nt+\pi) + \text{Cos. v. Sin. }\psi\text{ Sin. }\vartheta\text{ Sin. }(nt+\pi)\right\}$$

ist, wenn man für x, y, z, ihre auf das angezogene Theilchen gehenden Werthe setzt, und dieses ist die mit $\delta. \frac{L}{f}$ zu verbindende Gröfse, so dafs $\alpha\,\delta V' =$

$$L.\delta. \left\{\frac{1}{f} - \frac{1}{\varrho} - \frac{r}{\varrho^2}\left[\text{Cos.}\vartheta.\text{Sin.v} + \text{Sin.}\vartheta.\text{Cos.v.Cos.}(nt+\pi-\psi)\right]\right\}$$

wird. Statt der Constans habe ich sogleich $\frac{1}{\varrho}$ gesetzt, weil, wenn das Theilchen im Mittelpuncte selbst läge, oder die Kugel, auf deren Oberfläche r sich bezieht, einen unendlich kleinen Halbmesser hätte, die relative Wirkung ja nothwendig = 0 wäre. Wir müssen also nun $\frac{1}{f}$ in eine nach den Potenzen von ϱ geordnete fallende Reihe entwickeln; diese ist =

$$\frac{1}{\varrho} + \frac{r}{\varrho^2}\left[\text{Cos. }\vartheta\text{ Sin. v} + \text{Sin. }\vartheta\text{ Cos. v. Cos. }(nt+\pi-\psi)\right]$$
$$+ \tfrac{3}{2}\frac{r^2}{\varrho^3}\left[(\text{Cos.}\vartheta.\text{Sin.v} + \text{Sin.}\vartheta\text{ Cos.v. Cos. }(nt+\pi-\psi))^2 - \tfrac{1}{3}\right]$$

und es wird $\alpha\,\delta V' =$

$$\tfrac{3}{2}\frac{r^2}{\varrho^3}\text{L.}\,\delta.\ \left\{\left[\text{Cos.}\vartheta\text{ Sin.v} + \text{Sin.}\vartheta\text{ Cos.v. Cos. }(nt+\pi-\psi)\right]^2 - \tfrac{1}{3}\right\}$$

wenn man wegen der Gröfse der Entfernung ϱ die folgenden Glieder wegläfst. Dieser Werth läfst sich aber leicht in folgende verwandeln =

$$\frac{r^2}{\varrho^3}\text{L. }\delta.\ \left\{\begin{array}{l}\tfrac{3}{4}\ (\text{Sin.}^2\text{ v} - \tfrac{1}{2}\text{ Cos.}^2\text{ v})\ (1 + 3\text{ Cos. }2\,\vartheta)\\ + 3\text{ Sin. }\vartheta\text{ Cos. }\vartheta\text{ Sin. v. Cos. v. Cos. }(nt+\pi-\psi)\\ + \tfrac{3}{4}\text{ Sin.}^2\ \vartheta\text{ Cos.}^2\text{ v Cos. }2\ (nt+\pi-\psi)\end{array}\right\},$$

der auf drei verschiedene Arten von Oscillationen hinweiset.

Diese Oscillationen können, da sie sehr klein sind, als sich zu einander hinzufügend und jede für sich bestehend angesehen werden, und wir können sie daher jede einzeln betrachten. Diejenige, auf welche sich das erste Glied bezieht, hängt für einen gegebenen Ort auf der Erde bloſs von v ab, und ihre Periode wird also durch die Rückkehr des Himmelskörpers zu derselben Declination bestimmt. Die zweite Art von Oscillationen hängt vorzüglich, wenn π einerlei bleibt, von $nt - \psi$ ab, und hat also den scheinbaren Umlauf des Gestirns um den ganzen Himmel oder die Rückkehr zu derselben Stellung gegen den Mittagskreis zu ihrer Periode. Die dritte Art von Oscillationen hat nur eine halb so lange Periode, da bei wenig geändertem v ihre gleichen Werthe schon wiederkehren, wenn $nt - \psi$ sich um 180 Grade ändert.

Ehe wir aber hieraus die Oscillationen selbst näher bestimmen können, müſste eigentlich noch derjenige Theil von $a\delta V'$ gesucht werden, der von der Attraction der Kugelschicht, deren ungleiche Dicke durch αy ausgedrückt ist, hervorgebracht wird. Indeſs, da diese auf einer ganz eigenthümlichen Untersuchung beruht und es uns hier nur auf den Hauptgang der Betrachtungen ankommt, so wollen wir darauf hier keine Rücksicht nehmen.

23. Oscillationen der ersten Art.

Diese werden so bestimmt, als ob der ganze Werth von $\alpha V'$ in dem Ausdrucke

$\frac{1}{4}\frac{r^2}{\rho^3} L\,(\text{Sin.}^2\, v - \frac{1}{2}\text{Cos.}^2\, v)\,(1 + 3\,\text{Cos.}\,2\,\vartheta)$, enthalten wäre. Die Betrachtung dieser Oscillation kann ich hier sehr abkürzen durch die von Laplace vollständiger begründete Bemerkung, daſs sie fast ganz so erfolgen, wie es das unter der Einwirkung der anziehenden Körper statt findende Gleichgewicht fordern würde. Nimmt man dies an, so sind die in Beziehung auf t genommenen partiellen Differentiale $= 0$, und die Gleichung M geht ganz kurz in $\alpha g y = \alpha V'$ über, das ist $\alpha y = \frac{r^2 L\,(\text{Sin.}^2\, v - \frac{1}{2}\text{Cos.}^2\, v)\,(1 + 3\,\text{Cos.}\,2\,\vartheta)}{4\,\rho^3.\,g.}$

und dies ist die Höhe der Fluth, die in Beziehung auf diese Oscillationen statt findet. Der Grund aber, warum sich hier fast ganz die dem Gleichgewichte angemessene Form her-

stellt, oder sich herstellen würde, wenn keine andere Oscillationen vorkämen, ist der, dafs v und ρ lange genug nahe einerlei bleiben, um die gesammte Wirkung auszuüben, die diesem Werthe gemäfs ist. Für den Mond ist das zwar nicht strenge richtig, da seine Declination und Entfernung sich nicht so langsam ändert, aber auch für ihn glaubt LAPLACE mit diesem Ausdruck zufrieden seyn zu können.

24. Oscillationen der zweiten Art.

Das Glied

$$\frac{3r^2L}{\rho^3}\text{Sin. }\vartheta\text{ Cos. }\vartheta.\text{ Sin. v. Cos. v. Cos. }(nt+\pi-\psi),$$

läfst sich so darstellen, dafs v und ψ als bekannte Functionen von t erscheinen. Denn da die Declination v leicht durch den Abstand vom Durchschnittspuncte des Aequators mit der Bahn des anziehenden Körpers, also, da dieser Knoten hier als ruhend angesehen werden kann, durch die Rectascension ψ dargestellt wird, diese aber sich ungefähr der Zeit proportional ändert, so läfst sich jener Ausdruck in eine Reihe von Gliedern von der Form α k Sin. ϑ Cos. ϑ Cos. $(it+\pi-A)$ entwickeln, in welcher, wegen der langsamen Bewegung der Himmelskörper in Vergleichung gegen die Umdrehung der Erde, i, wenig von n verschieden ist.

Um nun in Beziehung auf unsern Werth von V′ die Gleichungen M und N zu integriren, wollen wir

$$y = a\text{ Cos. }(it+\pi-A),$$
$$u = b\text{ Cos. }(it+\pi-A),$$
$$v = c\text{ Sin. }(it+\pi-A),$$
$$y-\frac{V'}{g} = a'\text{ Cos. }(it+\pi-A)$$

setzen, wo a, b, c und a′ rationale Functionen von Sin. ϑ und Cos. ϑ bedeuten. Unter diesen angenommenen Werthen ist blofs der für y angenommene anscheinend willkürlich; der für $y-\frac{V'}{g}$ findet wegen der eben angeführten Bedingungen von selbst statt, wenn der für y richtig ist, und u, v sind so an y geknüpft, dafs die allgemeine Form ihrer Werthe mit der für y zugleich gegeben ist. Dies erhellt aus der Gleichung M, die, weil ϑ und π sich unabhängig von einander ändern, sich in zwei Gleichungen zerlegt, nämlich

$$r^2\left(\frac{d^2u}{dt^2}\right)-2nr^2\,\text{Sin.}\,\vartheta\,\text{Cos.}\,\vartheta\left(\frac{dv}{dt}\right)=\left(\frac{dV'}{d\vartheta}\right)-g\left(\frac{dy}{d\vartheta}\right);$$

und

$$r^2\,\text{Sin.}^2\vartheta.\left(\frac{d^2v}{dt^2}\right)+2nr^2\,\text{Sin.}\,\vartheta\,\text{Cos.}\,\vartheta\left(\frac{du}{dt}\right)=\left(\frac{dV'}{d\pi}\right)-g\left(\frac{dy}{d\pi}\right).$$

Wenn nun hier in der letzten Gleichung, nach dem Gleichheitszeichen, kein anderer von π abhängiger Factor vorkommt, als Sin. $(it+\pi-A)$, so muſs eben dieser Factor sich auch als der einzige von π und t abhängende in dem finden, was vor dem Gleichheitszeichen steht, und deshalb müssen u und v die angenommenen Werthe haben. Hieraus erhellet aber auch, wie man voraus sehen konnte, daſs die für y angenommene Form einen Genüge thuenden Werth gebe. Hierbei ist denn auch noch die Bemerkung zu erwähnen, daſs es nicht nothwendig ist, das vollständige Integral unserer Gleichungen zu finden, sondern daſs ein bloſs Genüge thuender Werth zureicht. Der vollständige Werth müſste nämlich zwei unbestimmte Functionen enthalten, deren Werth vom anfänglichen Zustande des Flüssigen abhängen würde; aber gewiſs ist in den Erscheinungen der jetzigen Oscillationen nichts mehr von dem kenntlich, was von dem anfänglichen Zustande abhing, und es kommt daher auf jene Functionen gar nicht an.

Die Gleichung N läſst sich so ausdrücken:

$$y=+\left(\frac{d.\,\gamma u\,\text{Sin.}\,\vartheta}{d.\,\text{Cos.}\,\vartheta}\right)-\left(\frac{d.\,\gamma v}{d\,\pi}\right),$$ also nun durch:

$$a=+\left(\frac{d.\,\gamma b\,\text{Sin.}\,\vartheta}{d\,\text{Cos.}\,\vartheta}\right)-\gamma\,c,$$ wenn man γ als von π unabhängig annimmt, also nur den Fall betrachtet, wo die sphäroidische Wasserschicht eine bloſs von der geographischen Breite abhängige Tiefe hat.

In den beiden aus der Gleichung M hervorgegangenen Gleichungen sollte man eigentlich darauf Rücksicht nehmen, daſs i von n verschieden ist, und sollte die verschiedenen Glieder nachher in eins vereinigen; aber um hier nur die Hauptzüge der Theorie zu verfolgen, will ich es ansehen, als ob $n=i$ wäre, was immer beinahe statt findet, da die eigene Bewegung des Gestirns gering ist. Dann würden jene zwei aus M hervorgegangenen Gleichungen mit Hülfe der für u, v, angenommenen Werthe

$r^2 b + 2 r^2 c \text{ Sin. } \vartheta \text{ Cos. } \vartheta = + \frac{g.}{n^2}\left(\frac{d a'}{d \vartheta}\right)$; und

$r^2 c \text{ Sin.}^2 \vartheta + 2 r^2 b \text{ Sin. } \vartheta \text{ Cos. } \vartheta = -\frac{g a'}{n^2}$; geben, also

$$b = \frac{g}{n^2 r^2}\left(\frac{\left(\frac{d a'}{d \vartheta}\right) + \frac{2 a' \text{ Cos. } \vartheta}{\text{Sin. } \vartheta}}{(1 - 4 \text{ Cos.}^2 \vartheta)}\right), \text{ und}$$

$$c = \frac{-g}{n^2 r^2 \text{ Sin.}^2 \vartheta}\left(\frac{a' + 2\left(\frac{d a'}{d \vartheta}\right) \text{Cos. } \vartheta \text{ Sin. } \vartheta}{1 - 4 \text{ Cos.}^2 \vartheta}\right),$$

oder wenn man hier auch der Grösse a die Form Q Sin. ϑ Cos. ϑ giebt und Q als unabhängig von ϑ ansieht, wo dann

$a' = \left(Q - \frac{k}{g}\right) \text{Sin. } \vartheta \text{ Cos. } \vartheta$ ist, wird

$b = -\left(\frac{Q g - k}{n^2 r^2}\right)$; dadurch aber geht die Gleichung

$a = +\left(\frac{d. (\gamma. b. \text{ Sin. } \vartheta)}{d \text{ Cos. } \vartheta}\right) - \gamma c$, weil b von ϑ unabhängig ist, in

$$a = -\frac{\gamma b \text{ Cos. } \vartheta}{\text{Sin } \vartheta} - \gamma c - b\left(\frac{d\gamma}{d\vartheta}\right),$$

$a = - b\left(\frac{d\gamma}{d\vartheta}\right)$ über, weil $-\frac{b \text{ Cos. } \vartheta}{\text{Sin. } \vartheta} - c = 0$ ist.

Hier erhellt also, daſs man $a = 0$ erhalten würde, wenn man γ als unabhängig von ϑ ansähe, oder daſs die Schwankungen der zweiten Art ganz verschwänden, wenn der Erdkern überall gleich tief mit Wasser bedeckt wäre. Dieses würde wenigstens sehr nahe der Fall seyn, da unsre Voraussetzung $i = n$, nicht viel von der Wahrheit entfernt ist. Denken wir uns einen sphäroidischen Erdkern, den das sphäroidische Meer bedeckt, so können wir für einen solchen Körper $\gamma = l (1 - q \text{ Cos.}^2 \vartheta)$ setzen, und q als von ϑ unabhängig ansehen; dann würde $a = Q \text{ Sin. } \vartheta \text{ Cos. } \vartheta =$
$- 2 b l q \text{ Sin. } \vartheta \text{ Cos. } \vartheta$

also $Q = \frac{2 l k q}{2 l g q - n^2 r^2}$

und da wir nun aus leicht erhellenden Gründen für k wieder $\frac{3 r^2 L}{\varrho^3}$ Sin. v. Cos. v setzen dürfen, da es so gut ist, als ob

wir v und ϱ gar nicht als von t abhängig angesehn hätten, so ist die Gröſse der zweiten Oscillation durch

$$\frac{6\,L\,r^2\,l\,q}{\varrho^3}\left\{\frac{\text{Sin. v. Cos. v Sin. }\vartheta\text{ Cos. }\vartheta\text{. Cos. }(nt+\pi-\psi)}{2lgq-r^2n^2}\right\}$$

ausgedrückt und u, v ebenfalls bestimmt.

Hieraus erklärt sich, wie LAPLACE bemerkt, die sehr nahe Gleichheit der Fluthen, die statt finden, wenn das Gestirn ein Mal über, das andre Mal unter dem Horizonte ist; denn wenn lq sehr klein ist, so müssen diese Oscillationen sehr geringe werden, so wie sie es in unsern Meergegenden wirklich sind.

25. Oscillationen der dritten Art.

Sie hängen von dem Gliede

$\frac{3}{4}\cdot\frac{r^2\,L}{\varrho^3}$ Sin.$^2\,\vartheta$ Cos.^{2} v. Cos. $(2nt+2\pi-2\psi)$, ab, und da wir schon wissen, daſs man um die Oscillationen der zweiten Art so klein zu erhalten, als sie wirklich sind, γ beinahe als überall gleich ansehen muſs, so wollen wir γ constant $=1$ setzen. Setzen wir nun

$y = a$ Cos. $(2\,n\,t+2\,\pi-2\,\psi)$,

$y-\frac{V'}{g} = a'$ Cos. $(2\,n\,t+2\,\pi-2\,\psi)$,

also $\alpha\,a' = \alpha\,a - \frac{3\,r^2\,L}{4\,\varrho^3\,g}$ Sin.$^2\,\vartheta$ Cos.^{2}v,

$u = b$ Cos. $(2\,n\,t+2\,\pi-2\,\psi)$,

$v = c$ Sin. $(2\,n\,t+2\,\pi-2\,\psi)$, so könnten wir, ganz dem vorigen Verfahren analog fortrechnen; aber die Formeln werden hier einfacher, wenn man alles auf Sin. $\vartheta = x$ zurückführt, wo dann die beiden aus M hergeleiteten Gleichungen geben

$$4n^2r^2b+4n^2r^2cx\gamma(1-x^2)=g\gamma(1-x^2)\left(\frac{da'}{dx}\right);$$

$$4n^2r^2cx^2+4n^2r^2bx\gamma(1-x^2)=-2ga';$$

$$b=\frac{g\gamma(1-x^2)\left(\frac{da}{dx}\right)}{4\,n^2\,r^2\,x^2}+\frac{2\,g\,a'\,\gamma\,(1-x^2)}{4\,n^2\,r^2\,x^3}$$

$$c=\frac{-2\,g\,a'}{4\,n^2\,r^2\,x^4}-\frac{g\,(1-x^2)\left(\frac{da'}{dx}\right)}{4\,n^2\,r^2\,x^3}.$$

Wir hatten aber

$$y = +\left(\frac{d.\,\gamma\, u\, \text{Sin.}\,\vartheta}{d.\,\text{Cos.}\,\vartheta}\right) - \left(\frac{d.\,\gamma\, v}{d\,\pi}\right),$$ also jetzt

$$\frac{a}{l} = -\left(\frac{d\,b}{d\,x}\right)\gamma\,(1-x^2) - \frac{b\,\gamma\,(1-x^2)}{x} - 2\,c$$

oder endlich

$$0 = \alpha x^2 (1-x^2)\left(\frac{d^2 a}{d\,x^2}\right) - \alpha\,x\left(\frac{d\,a}{d\,x}\right) + \frac{6\,r^2 L\, x^2\, \text{Cos.}^2 v}{g\,\varrho^3}$$
$$+ \alpha\,a\left(2\,x^2 - 8 + \frac{4\,n^2 r^2 x^4}{g\,l}\right).$$

Diese Gleichung läſst sich nun auflösen, indem man $\alpha\,a = A\,x^2 + B\,x^4 + C\,x^6 +$ etc. setzt. Dadurch findet man $A = \frac{1}{4}\,\frac{r^2 L\,\text{Cos.}^2 v}{g\,\varrho^3}$; aber B bleibt, wenn man die Coefficienten von x^4 gleich setzt, unbestimmt, und muſs erst dadurch gefunden werden, daſs man die folgenden Glieder betrachtet, die $\frac{B}{A} = \cfrac{\frac{2\,n^2 r^2}{g\,l}}{5 - 8.\frac{C}{B}}$

$\frac{C}{B} = \cfrac{2\,n^2 r^2}{g\,l\left(7 - 10.\frac{D}{C}\right)}$ und so weiter geben; hieraus erhält man B in einen Kettenbruch verwandelt und dann auch die übrigen Coefficienten.

Diese Oscillationen der dritten Art hängen also von der Tiefe des Meeres ab, und würden selbst auf einer ganz mit Wasser bedeckten Erde sehr verschieden seyn, je nachdem die Wasserschicht mehr oder minder tief ist. Diese Ungleichheit ist so groſs, daſs zum Beispiel für $l = \frac{1}{722,5}\,r$, welches $= 0,4\,\frac{n^2 r^2}{g}$ ist, die ganze Fluthhöhe unter dem Aequator bei Neumond und Vollmond 34 Fuſs 3 Zoll, bei doppelt so groſser Tiefe dagegen 5 Fuſs 10 Zoll wird. Wenn die Tiefe des Meeres gröſser angenommen wird, so nimmt die Fluthhöhe ab, aber die Grenze dieser Abnahme ist diejenige Höhe = 36, 4 Zoll, welche statt fände, wenn das Meer in jedem Augenblick die Gestalt des Gleichgewichts annähme.

Vergleichung der Theorie mit der Beobachtung.

26. Die schönen, lange fortgesetzten Beobachtungen, welche im Anfange des vorigen Jahrhunderts in Brest angestellt waren, gaben LAPLACE schon im 4. Buche der Méc. céleste Gelegenheit, die Theorie mit der Erfahrung zu vergleichen; aber noch bessere Vergleichungen haben sich später dargeboten, da seit 1806 die Beobachtungen in Brest auf das sorgfältigste fortgesetzt werden. Diese neuen Vergleichungen sind vorzüglich darauf gerichtet, die Verschiedenheiten kennen zu lernen, welche die Fluthen, deren Periode ungefähr ein halber Tag ist, darbieten. LAPLACE macht über die Zusammenstellung der dazu auszuwählenden Beobachtungen folgende Bemerkung.

Wenn [1] man die Gesetze dieser Oscillationen aus den Beobachtungen kennen lernen will, so muſs man nur die Höhe der *einen* Fluth über eine der nächsten Ebben in Betrachtung ziehen, da nach jedem vollen Tage die Oscillationen der zweiten Art dieselben oder nahe dieselben sind; man muſs ferner gleich viele Fluthen, die mit den Syzygien und mit den Quadraturen der beiden Aequinoctien und der beiden Solstitien verbunden waren, in Betrachtung ziehen, um den Einfluſs der ungleichen Declinationen als aufgehoben ansehen zu können; und um auch den Einfluſs zu beseitigen, den die ungleiche Entfernung des Mondes von der Erde hat, muſs man um jedes Aequinoctium oder Solstitium drei Syzygien nehmen und den Werth des mittleren verdoppeln, weil der Mond allemal bei zwei auf einander folgenden Syzygien in gerade entgegengesetzten Beziehungen in Hinsicht auf seine Annäherung zur Erde oder Entfernung von der Erde ist. Nach diesen Regeln hat BOUVARD unter LAPLACE's Leitung die von 1807 bis 1822 in Brest angestellten Beobachtungen zusammengestellt, und folgende Mittelzahlen gefunden.

I. Bei *den Aequinoctial-Springfluthen*, steigt die Nachmittagsfluth über die Früh-Ebbe am Tage vor dem Syzygium 5,546 Meter.

am Tage des Syzygii 6,094
am ersten Tage nachher 6,387,

---

1 Méc. cél. Livre V. chap. 2. 3.

am zweiten Tage nachher 6,343 Meter.
dritten — — 6,081.
vierten — — 5,491.

Um diese Beobachtungen und so auch die folgenden in einer, alle umfassenden Formel auszudrücken, nimmt LAPLACE an, daſs die Höhe der vollen Fluth durch $\alpha - \beta\,(t - y)^2$ dargestellt werde, wo also α die Höhe der höchsten Fluth über den Mittelstand des Wassers bedeutet, t ist die Zeit nach dem Syzygio und y die Zeit, um welche die stärkste Wirkung der Gestirne dem Syzygio folgt. Dann muſs die tiefste Ebbe, welche irgend einer Fluth um $\frac{1}{4}$ Tag vorangeht, durch $-\alpha + \beta\,(t - y - \frac{1}{4})^2$ dargestellt werden, und die ganze Fluthhöhe ist also $= 2\,\alpha - \frac{\beta}{32} - 2\beta\,(t - y - \frac{1}{8})^2$ die vorigen Beobachtungen geben nun, wenn man Rücksicht darauf nimmt, daſs die Fluth am Tage der Syzygien im Mittel nicht genau mit dem Syzygio selbst zusammentraf $2\,\alpha = 6{,}4046$, $2\,\beta = 0{,}1412$.

Die Beobachtungen werden daher durch
$6{,}4024 - 0{,}1412\,(t - 1{,}605)^2$ dargestellt, und $1{,}605 - \frac{1}{8} = 1{,}480$ ist die Zeit der stärksten Wirkung der Gestirne in Brest nach den Syzygien, die höchste Fluth tritt 1,611 Tag nach dem Neu- oder Vollmond ein, und ist $= 6{,}402$ Meter. Alles hier in Beziehung auf die Aequinoctial-Springfluthen.

Für die Quadraturen gelten nachher ähnliche Formeln, nur ist da die täglich mehr zunehmende Höhe der Fluth
$= \alpha + \beta\,(t - y)^2$, der Ebbe $= -\alpha - \beta\,(t - y + \frac{1}{4})^2$, wenn die Höhe der Fluth über der *nächst folgenden* Ebbe beobachtet ist, also die ganze Fluthhöhe $= 2\,\alpha + \frac{\beta}{32} + 2\beta\,(t - y + \frac{1}{8})^2$.
Dieses Gesetz des Wachsens, dem Quadrate der Zeiten gemäſs, kann aber nur auf die dem Maximum oder Minimum nächsten Tage angewandt werden.

II. *Die Solstitial-Springfluthen* geben folgende Höhe der Nachmittagsfluth über die Früh-Ebbe:

am Tage vor den Syzygien 5,042. Meter
am Tage der Syzygien 5,398.
am ersten Tage nachher 5,583.
am zweiten — — 5,569.
am dritten — — 5,398.
am vierten — — 5,069.

Die Formel $5{,}5956 - 0{,}0866\ (t - 1{,}672)^2$ stellt diese Beobachtungen mit Rücksicht auf den Umstand dar, daſs das Syzygium im Mittel nicht mit der Zeit der höchsten Fluth zusammentraf, und die vollständigste Wirkung tritt bei den Solstitien 1,547 Tage nach den Syzygien ein.

Die Vergleichung dieses Resultates mit dem vorigen zeigt den Einfluſs der Declinationen der Gestirne, indem die Springfluthen nur 5,6 Meter sind, wenn Mond und Sonne so ziemlich ihre gröſsten Declinationen haben, dagegen 6,4 Meter, wenn beide dem Aequator nahe sind. Dieser Unterschied ist so bestimmt auffallend, daſs wenn man auch nur die einzelnen Jahre betrachtet, das Mittel aus den sechs Aequinoctial-Springfluthen selbst desjenigen Jahres, wo es am geringsten ausfällt, noch viel gröſser ist, als das gröſseste unter den Mitteln aus den Solstitial-Springfluthen.

III. *Für die Aequinoctial-Nippfluthen* sind die Unterschiede zwischen der Morgenfluth und der Nachmittags-Ebbe genommen. Hier sind nur vier Tage aufgeführt, weil bei entfernteren Tagen das Gesetz, daſs die Höhen ein den Quadraten der Zeit folgendes Gesetz haben, hier, wo die Aenderungen stärker sind, nicht mehr anwendbar seyn möchte.

Die mittlere ganze Fluthhöhe war am Tage der Quadratur = 3,079 Meter

einen Tag nachher	=	2,438.
zwei Tage nachher	=	2,446.
drei — —	=	3,095.

Die Formel ist $2{,}3610 + 0{,}323\ (t - 1{,}3846)^2$ und die geringste Fluth ist also 1,509 Tage nach der Quadratur nur 2,36 Meter hoch.

IV. Eine gleiche Betrachtung der *Solstitial-Nippfluthen* ergiebt: die Höhe am Tage der Quadratur 3,447 Meter

1 Tag nachher	3,163.
2 Tage —	3,143.
3 Tage —	3,425.

Das Minimum dieser Fluthen trifft daher 1,513 Tage nach der Quadratur und ist = 3,117 Meter. Die Formel ist $3{,}117 + 0{,}141 \cdot (t - 1{,}388)^2$; das Minimum der Fluthen folgt also fast genau eben so lange nach den Quadraturen als das Maximum nach den Syzygien.

Auch hier zeigt sich der Einfluſs der Declination der Ge-

stirne, welche bei den Solstitien die Nippfluthen nicht zu der Kleinheit gelangen läſst, die sie bei den Aequinoctien haben, weil bei den Aequinoctial-Nippfluthen die Wirkung des Mondes, als des am meisten wirkenden Körpers, durch seine starke Declination vermindert wird, statt daſs sie bei den Solstitialquadraturen, wo der Mond sich ungefähr im Aequator befindet, mächtiger ist.

27. Die theoretischen Untersuchungen setzten die Erde als ganz bedeckt vom Wasser voraus und ihnen zu Folge müſste die Zeit der Fluth in einer genauen Uebereinstimmung mit der Culmination des Gestirns stehen. Da aber auf der Erde die Fortpflanzung der Bewegung des Meeres offenbar durch die Unregelmäſsigkeit der Ufer und Begrenzungen desselben gestört wird, so läſst sich leicht einsehen, daſs der Factor $\text{Cos.}(2nt + 2\pi - 2\psi)$ die Form $\text{Cos.}(2nt - 2\pi - 2\psi - 2\lambda)$ haben und λ für jeden Ort einen andern Werth erhalten wird.

Laplace zeigt in seinen neuern theoretischen Untersuchungen, daſs man, wenn für die Declination der vermittelst des Fortrückens in der Bahn ausgedrückte Werth gesetzt wird, folgendes als den Ausdruck für die Kräfte, welche Oscillationen, deren Periode ungefähr ein halber Tag ist, bewirken, finde:

$$\frac{A\,L}{r^3}\,\text{Cos.}^4\,\tfrac{1}{2}\,\varepsilon\ \text{Cos.}\,(2\,n\,t + 2\,\pi - 2\,m\,t - 2\,\lambda)$$

$$+ \tfrac{1}{2}\,\frac{B\,L}{r^3}\,\text{Sin.}^2\,\varepsilon\ \text{Cos.}\,(2\,n\,t + 2\,\pi - 2\,\gamma);$$ hier ist der Halbmesser der Erde $= 1$, die Entfernung der Sonne $= r$, die Masse der Sonne $= L$, die Neigung ihrer scheinbaren Bahn gegen den Aequator $= \varepsilon$; ϑ das Complement der Breite des Ortes; $n\,t + \pi$ der Stundenwinkel des Aequinoctialpunctes oder allgemein des Punctes, wo die Bahn des Gestirns den Aequator schneidet; $m\,t$ ist die mittlere Bewegung der Sonne. Die Wirkung des Mondes würde durch zwei ganz ähnlich gebildete Glieder ausgedrückt, in denen r', L', ε' und so ferner in Beziehung auf den Mond eben das bedeuten, wie r, L, ε in Beziehung auf die Sonne. Die vier constanten Gröſsen A, B, λ, γ müssen aus den Beobachtungen bestimmt werden, und die Formel für die Wirkung des Mondes scheint neue vier constante Gröſsen A', B', λ', γ' herbeizuführen. Aber da das zweite Glied von der Schnelligkeit der eignen Bewegung des Gestirns unabhängig ist, und der Durchschnittspunct des Aequators mit

der Mondsbahn ohne Bedenken als ruhend angesehen werden kann, so kann man $B' = B$ und $\gamma' = \gamma + \delta$ setzen, wenn δ die Rectascension des Knotens der Mondsbahn und des Aequators ist, das heifst, man darf annehmen, dafs derjenige Theil der Fluth, der von dem Fortrücken des Gestirns auf seiner Bahn unabhängig ist, bei beiden Gestirn gleich sehr verzögert und auch bei beiden in gleichem Mafse durch Localitäten verstärkt oder geschwächt wird. So sind also noch sechs Constanten A, A', B, λ, λ' und γ aus den Beobachtungen zu bestimmen. Man darf ferner wagen, diese so an einander zu knüpfen, dafs man $A = (1 + m\,x)\,B$, $A' = (1 + m'\,x)\,B$, $\lambda = \gamma - m\,y$, $\lambda' = \gamma - m'\,y$ setzt; die Beobachtungen zeigen, dafs diese Voraussetzung sehr nahe der Wahrheit gemäfs ist, und es brauchen also nun nur vier Gröfsen B, γ und x, y aus den Beobachtungen hergeleitet zu werden.

Da in diesen Formeln das Glied, welches von $m\,t$ unabhängig ist, denjenigen Theil der Wirkung ausdrückt, die statt fände, wenn das Gestirn nach einer ganzen Rotation der Erde wieder im Meridiane stände, oder gar nicht am Himmel fortrückte, so erhellet leicht, dafs die eigene Bewegung zur Vermehrung der Fluth beiträgt, wenn $A > B$ ist: denn man darf annehmen, dafs für $m = 0$, $A = B$ seyn würde.

Unter den vier Gröfsen B, γ, x, y läfst sich aber noch die eine y durch eine der Wahrheit nahe kommende Betrachtung wegschaffen. Es erhellet nämlich leicht, dafs wegen des ziemlich kleinen Factors $\mathrm{Sin.}^2\,\varepsilon$, das erste Glied in unserer Gleichung das bedeutendste ist, dafs also die Zeit der Fluth vorzüglich vom ersten Gliede abhängt; für die Zeit der vollen Fluth mufs also $2\,n\,t + 2\,\pi - 2\,m\,t - 2\,\lambda$ wenig von einem geraden Vielfachen des ganzen Umfangs abweichen, und bei den Syzygien mufs dieses zugleich auch für den Mond oder für $2\,n\,t + 2\,\pi - 2\,m'\,t - 2\,\lambda'$ statt finden. Hierdurch finden sich Mittel, die Zahl der zu bestimmenden Gröfsen noch um eine zu vermindern, und wenn man dann die sehr unbedeutenden Glieder wegläfst und die Glieder, die sich in einem Mittel aus vielen Beobachtungen, als bald + bald — werdend compensiren, wegläfst, so erhält man aus einer Anzahl von i Beobachtungen folgende Formeln, in welchen P die Summe aller $\mathrm{Cos.}^2\,v$ in den Aequinoctial-Syzygien, Q die Summe aller $\mathrm{Cos.}^2\,v$ in den Solstitial-Syzygien, $P_{,}$ die Summe aller

$\mathrm{Cos.}^2\,v$ in den Aequinoctial-Quadraturen, Q, die Summe aller $\mathrm{Cos.}^2\,v$ in den Solstitial-Quadraturen in Beziehung auf $v =$ Declination der Sonne bedeuten, und P'; Q'; $P'_{,}$; $Q'_{,}$ eben die Bedeutung in Beziehung auf den Mond haben; — der Factor $1 + 0{,}02734$ bei den Syzygien und $1 - 0{,}02734$ bei den Quadraturen entsteht durch die Rücksicht auf die unter dem Namen Variation des Mondes bekannte Ungleichheit seiner Bewegung.

Für die Aequinoctial-Syzygien

$$2\,i\,\alpha = 2\,\frac{A\,L\,P}{r^3} + 2\,A'.\,1{,}02734\,\frac{L'\,P'}{r'^3}$$

$$-\,(A - B)\,\frac{L}{r^3}(P - Q) - (A' - B)\,1{,}02734\,\frac{L'}{r'^3}(P' - Q');$$

für die Solstitial-Syzygien

$$2\,i\,\alpha = 2\,\frac{A\,L}{r^3}\,Q + 2\,A'.\,1{,}02734\,\frac{L'}{r'^3}\,Q'$$

$$+\,(A - B)\,\frac{L}{r^3}(P - Q) + (A' - B)\,1{,}02734\,\frac{L'}{r'^3}(P' - Q');$$

für die Aequinoctial-Quadraturen

$$2\,i\,\alpha = 2\,A'.\,0{,}97266\,\frac{L'}{r'^3}\,Q'_{,} - 2\,A\,\frac{L}{r^3}\,P_{,}$$

$$+\,(A' - B)\,0{,}97266\,\frac{L'}{r'^3}(P'_{,} - Q'_{,}) + (A - B)\,\frac{L}{r^3}(P_{,} - Q_{,});$$

für die Solstitial-Quadraturen,

$$2\,i\,\alpha = 2\,A'.\,0{,}97266\,\frac{L'}{r'^3}\,P'_{,} - 2\,\frac{A\,L}{r^3}\,Q_{,}$$

$$-\,(A' - B)\,0{,}97266\,\frac{L'}{r'^3}(P'_{,} - Q'_{,}) - (A - B)\,\frac{L}{r^3}(P_{,} - Q_{,}).$$

r' ist die mittlere Entfernung des Mondes. Diese Formeln mit den Mitteln aus den Beobachtungen verglichen, geben, wenn $A = (1 + m\,x)\,B$, $A' = (1 + m'\,x)\,B$ gesetzt wird, $m'\,x = 0{,}25291$; $\frac{2\,B.\,L'}{r'^3} = 3{,}79491$ und $\frac{2\,B\,L}{r^3} = 1{,}612572$, also $\frac{L'}{r'^3} : \frac{L}{r^3} = 2{,}35333 : 1$ und daraus die Masse des Mondes $= \frac{1}{74{,}946}$ der Erdmasse. Man kann dann auch den Werth von β (in No. 26. I. II. III. IV) finden, und dieser ergiebt sich aus den Formeln sehr nahe der Erfahrung gemäfs, nur bei den

Solstitial-Syzygien und bei den Aequinoctial-Quadraturen etwa um $\frac{1}{10}$ zu groſs.

28. Eine ähnliche Vergleichung der Theorie mit den Beobachtungen stellt Laplace in Beziehung auf die in der Erdnähe und in der Erdferne angestellten Beobachtungen an. Die Aequinoctial-Syzygien, bei denen sich der Mond in der Erdnähe befand, gaben den Werth von $2\alpha = 7{,}209$, für die Erdferne $2\alpha = 5{,}580$.

Die Theorie dagegen giebt mit Hülfe der vorhin schon bestimmten Constanten den Unterschied dieser Zahlen 1,77, statt daſs die Beobachtung 1,63 giebt und Laplace wagt nicht zu entscheiden, ob diese Differenz der Unsicherheit der Beobachtungen zuzuschreiben sey, oder von den nicht ganz vollkommen richtigen Voraussetzungen und den unvollkommenen Approximationen der Theorie abhänge.

Laplace vergleicht ferner die Zeit der höchsten Fluth und tiefsten Ebbe nebst der täglichen Verzögerung mit der Theorie. Die Beobachtung gab: Zeit des niedrigsten Wassers am ersten Tage nach den Aequinoctial-Syzygien $10^h\ 12'$ Morg., am zweiten Tage $10^h\ 50'$ Morg. Zeit des höchsten Wassers am ersten Tage nach den Aequinoctial-Syzygien $4^h\ 21'$ Ab. am zweiten Tage $4^h\ 58'$ Ab. Eben die vier Bestimmungen bei den Solstitial-Syzygien $10^h\ 11'$ Morg.; $10^h\ 52'$ Morg., $4^h\ 20'$ Ab.; $5^h\ 1'$ Ab.

Bei den Aequinoctial-Quadraturen war Zeit des höchsten Wassers am ersten Tage nach der Quadratur $9^h\ 30'$ Morg. am zweiten Tage $10^h\ 52'$ Morg. Zeit des tiefsten Wassers am ersten Tage nach der Quadratur $3^h\ 48'$ Ab. Am zweiten Tage $5^h\ 12'$ Ab. Eben die Bestimmungen bei den Solstitial-Quadraturen $9^h\ 39'$ Morg. $10^h\ 46'$ Morg.; $3^h\ 57'$ Ab; $5^h\ 4'$ Ab.

Die Einwirkung der Declinationen auf die Verzögerung der Fluthzeit ist deutlich sichtbar, wenn sie gleich in Beziehung auf die Aequinoctial- und Solstitial-Syzygien nur wenig beträgt. Dieses so wie die vermehrte tägliche Verzögerung der Fluth, wenn der Mond sich in der Erdnähe befindet, ist der Theorie gemäſs; aber dennoch findet Laplace, bei einer sorgfältigen Prüfung der Beobachtungen eine kleine Abweichung von der Theorie, die vielleicht andeuten könnte, daſs das Princip der Coexistenz der verschiedenen Oscillationen nicht strenge richtig wäre. Diese Abweichung besteht

darin, daſs, wenn man die Zeit der Sonnenfluth aus den Viertelmondsfluthen ableitet, man sie um 13¼ Min. früher findet, als wenn man die Zeit der Sonnenfluth aus den Neu- und Vollmondsfluthen ableitet. —

Ich muſs die übrigen Vergleichungen, die kein ganz entschiedenes Resultat geben, weil die zu bestimmenden Gröſsen allzu unbedeutend sind, übergehen, und glaube auch, daſs das Bisherige hinreicht, theils um zu ähnlichen Vergleichungen für andere Orte aufzufordern, theils zu zeigen, was eigentlich mathematische Prüfung einer Theorie heiſst, und wie nur diejenigen Theorien, die zu einer solchen Prüfung Veranlassung geben, den Namen festbegründeter Theorien verdienen.

Nachrichten von einzelnen Merkwürdigkeiten, welche die Fluth an verschiedenen Orten darbietet.

29. Da schon die Theorie angiebt, daſs die täglich zweimal wiederkehrende Ebbe und Fluth selbst auf einer ganz und überall gleich tief von Wasser bedeckten Erde sehr ungleich ausfallen würde, je nachdem diese Wasserschicht mehr oder minder tief wäre, so läſst sich leicht erachten, daſs eine groſse Ungleichheit der Fluthen auf unserer so ganz unregelmässig mit Wasser bedeckten Erde, an verschiedenen Orten statt finden muſs. Laplace bemerkt, es möchten wohl, wenn man alle Länder durchginge, sich alle mögliche Verschiedenheiten finden. Ich kann von diesen mannigfaltigen Erscheinungen, deren sich gewiſs aus Reisebeschreibungen viele sammeln lieſsen, nur einige wenige erzählen.

Im groſsen Südmeere (stillen Meere) ist bei den Societäts-Inseln die Fluth geringe, nach Cook bei Otahaiti nur 1 Fuſs [1]. Bei den Sandwich-Inseln 2 Fuſs 6 Zoll. Dagegen an den Küsten von Neu-Seeland an einigen Orten 5, an andern 10 Fuſs bei Springfluthen; in der Straſse zwischen Neuguinea und Neuholland 11 Fuſs. Auf den freundschaftl. Inseln soll sie 6 Fuſs steigen; in Macao 10 Fuſs [2].

Im Atlantischen Meere steigt sie bei der Insel St. Helena 39 Zoll bei Springfluthen, 20 Zoll bei Nippfluthen nach Maskelyne, bei den Canarischen Inseln 7 bis 8 Fuſs, bei den Azo-

1 Phil. Transact. 1772. p. 357.

2 Woltmann's Schifffahrtskunde S. 221. 224.

ren 5 bis 8 Fuſs; an den Küsten von America ist fast ein eben so ungleiches Steigen der Fluth wie in Europa, denn während die Fluth in Charlestown 6 Fuſs, in Rio Janeiro 8 Fuſs, bei der Insel Martinique nur 1¼ Fuſs steigen soll, wird sie doch am St. Johns Fluſs zu 24 Fuſs, an der Mündung des Amazonenflusses zu 30 Fuſs angegeben. Am östlichen Ufer des atlantischen Meeres scheint die französische und englische Küste am merkwürdigsten zu seyn. Bei Brest und Cap Lizard steigt die Fluth bei Springfluthen 18 bis 19 Fuſs, ziemlich ebenso hoch soll sie in Falmouth und Plymouth und an der ganzen südlichen Küste Englands steigen; dagegen steigt sie bei der Insel Guernsey 32 Fuſs, bei der Insel Jersey 38 Fuſs, bei St. Malo 46 Fuſs (ja nach einigen Angaben über 60 Fuſs) [1] aber bei Cherboury wieder nur 20 Fuſs, bei Dieppe 18 Fuſs, bei Boulogne und Calais 18 bis 19 Fuſs. Dieses merkwürdige Anschwellen scheint von nichts anderem herzurühren, als von dem Einengen der groſsen aus dem Meere hereindringenden Fluthwelle, die gerade bei St. Malo in einen Winkel zusammengedrängt wird.

Eine eben so ungemeine Höhe erreicht die Fluth in dem Busen, in den die Saverne sich ergieſst; denn statt daſs sie bei Cap Lizard nur 18 Fuſs, bei St. Iver 22 Fuſs steigt, erreicht sie bei Barnstable 26 Fuſs Höhe und bei Milford-Haven 36 Fuſs, vor der Saverne bei Hung sogar 45 Fuſs [2]. Auch hier drängt sich die Fluthwelle, die von Süden in den Canal zwischen England und Irland eintritt, gegen ein gerade widerstehendes Ufer und befindet sich also in ähnlichen Umständen, wie bei St. Malo. Sobald man über diese vorspringende Küste hinaus mehr nördlich geht, so ist die Fluth in Cardigan-Bay nur 20 Fuſs u. s. w. [3] Auch die Küste von America bietet ein solches Beispiel dar, indem [4] an der Küste von Acadien das Merr bei Springfluthen nur 9 Fuſs steigt, dagegen

1 Mém. de Paris. 1702. Hist. p. 19.

2 Philos. Transact. 1668. p. 812.

3 Wo ich hier keine andre Quelle anführe, habe ich aus Woltmann's Handb. der Schifffahrtskunde geschöpft, womit noch zu vergleichen ist: Romme Tableaux des vents, des marées, et des courans. Par. 1817. 2 vol. 8.

4 Nach den Angaben der Encyclopédie ou Dictionaire universel. Art. Flux. wo jedoch diese 60 bis 70 Fuſs durch ein: à ce que l'on assure, ein wenig zweifelhaft gemacht sind.

im Hintergrunde der Bay die Fluth 60 bis 70 Fuſs Höhe erreichen soll.

Daſs dieses Antreffen an ein gerade entgegen stehendes Ufer die Fluth veranlassen kann, so viel höher zu steigen, scheint mir aus der Beobachtung der Wellen einzuleuchten; denn wenn diese im Freien auch keine sehr erhebliche Höhe haben, so steigen sie an einem steil ihnen entgegen tretenden Einbaue oft bis auf das drei oder vierfache ihrer Höhe, welches ohne Zweifel daher rührt, weil der einmal im Andrängen begriffene Wasserberg sich immerfort heranwälzt, obgleich das Wasser vorne nicht mehr ausweichen kann, wodurch denn diese Anhäufung bewirkt wird.

In der Nordsee vor der Elbe und Weser steigt die Fluth 12 Fuſs, bei Helgoland 6 Fuſs. In den nördlichen Gegenden ist sie auch noch an manchen Orten bedeutend, zum Beispiel in der Nähe des Nord-Caps, etwa 8 Fuſs [1] in der Hudsonsbay 16 Fuſs. Im Mittelländischen Meere ist die Fluth wenig bemerkbar. Bei Neapel beträgt sie kaum 1 Fuſs; bei Toulon, wenn das Wetter ruhig ist, nach D' Angos Angabe 1 Fuſs; in Venedig bemerkt man, wie Toaldo angiebt, regelmäſsig zwei Fluthen, die bei Neu- und Vollmond auf 3 bis 3½ Fuſs steigen, bei den Quadraturen kaum 16 Zoll [2].

Ueber das Strömen und Anschwellen des Wassers in der Ostsee, was man wohl nicht eigentlich ein Fluthen und Ebben nennen kann, hat Schulten Beobachtungen angestellt [3]. Daſs ein gegen die Küsten wehender Wind das Wasser steigen macht, scheint ein Hauptumstand zu seyn; Schulten glaubt dieses Steigen sey ein Vorbote eines solchen Windes. Als Hauptursache der ungleichen Höhe sieht er den ungleichen Luftdruck an, daſs nämlich, wenn ein Theil der Ostsee einen hohen Barometerstand, der andre einen niedrigen Barometerstand hat, der letztere Theil sich zu einem höhern Stande erheben muſs, indem das Wasser da answeicht, wo der Druck am stärksten ist. Genaue Beobachtungen, daſs das Steigen an

---

1 Abh. der Schwed. Acad. XV. S. 176. Encyclopédie ou dict. univ. art. Flux.

2 Phil. Transact. 1793. p. 168. v. Zachs Mon. Corr. XXVI. S. 146. Phil. Transact. 1777. p. 144.

3 Gilb. Ann. XXXVI. 314.

den Küsten Schwedens nicht bloſs mit einem niedrigen Barometerstande an eben diesen Küsten, sondern auch mit einem höhern Barometerstande an der deutschen Küste begleitet gewesen sey, führt er indeſs nicht an, und also ist nicht entschieden, ob diese Ursache, die allerdings eine mitwirkende seyn mag, die einzige ist.

30. Auf das allmählige Fortschreiten der Fluth, besonders da, wo enge Zugänge sie aufhalten, habe ich schon oben aufmerksam gemacht. Woltmann's Angaben für die Nordsee sind als ein Beispiel sehr belehrend. Kennten wir die Umstände überall so genau, so würden wir vermuthlich manche uns jetzt räthselhaft vorkommende Phänomene vollständig erklären können. Ein solches Phänomen scheint mir zum Beispiel die ungemein schwache Fluth bei Otahaiti, die so erheblich von den stärkern Fluthen bei den freundschaftlichen Inseln und in andern nahe gelegnen Gegenden verschieden ist. Es läſst sich als möglich denken, daſs an einem Orte gar keine Fluth wäre, wenn dieser Ort seine Fluth durch zwei Canäle erhielte, in deren einem sie nach 6 Stunden, im andern nach 12 Stunden zu jenem Orte gelangte; hätten nämlich dann die Mündungen beider Canäle eine gleichzeitige und gleichhohe Fluth, so würde ungefähr die höchste Höhe der einen Fluthwelle allemal mit der gröſsten Tiefe der andern zusammentreffen und ein fast immer gleich hohes Wasser hervorbringen.

Schwerer zu erklären ist die höchst sonderbare Ordnung der Fluthen in Tonking in Ostindien, die von Davenport und Knox so beschrieben wird [1]. Jede Fluth dauert 12 Stunden und jede Ebbe eben so lange, so daſs es in 24 Stunden nur einmal Hochwasser wird; ferner finden in jedem Monat zwei Unterbrechungen der Fluthen statt, wo nämlich gar keine Fluth bemerkt wird, und zwischen diesen Zeitpuncten, die etwa 14 Tage aus einander sind, erreicht die Fluth am siebenten Tage ihre gröſste Höhe; gleich nach jenen Tagen ohne Fluth ist die Zunahme der Fluthen schwach und gleich vor jenen Tagen ist auch die Abnahme der Fluthen nicht mehr erheblich, sondern die gröſste Aenderung fällt um die Zeit der

1 Phil. Transact. 1684. p. 681. Vergl. auch Mém. de Paris. Tome 7. p. 777. wo von Siam Beobacht. vorkommen.

höchsten Fluthen. Endlich bemerkt man, daſs in der einen Hälfte des Monats der aufgehende Mond, in der andern Hälfte der untergehende Mond die höchste Fluth bringt.

HALLEY hat diese Beobachtungen sorgfältiger verglichen und giebt an, daſs wenn der Mond im Aequator ist, keine Fluth bemerkt werde, daſs sie also am höchsten steige, wenn der Mond die gröſste Declination hat. Er findet ferner, daſs der in den nördlichen Zeichen stehende Mond bei seinem Erscheinen über dem Horizonte die Fluth bringt, so daſs es höchstes Wasser ist wenn er untergeht, das Umgekehrte findet statt wenn er in dem südlichen Zeichen steht. Wenn die Fluthen ihre gröſste Höhe erreichen, steigt das Wasser 9 Fuſs über das Mittel und fällt 9 Fuſs unter das Mittel. HALLEY versucht keine Erklärung, macht aber aufmerksam darauf, daſs diese Fluthen wahrscheinlich in den Jahren stärker seyn müssen, wo der Mond sich bis zu 28° vom Aequator entfernen kann, als in den Jahren, wo er kaum 19° Declination erreicht. LAPLACE bemerkt über diese Erscheinung, daſs die zweimaligen Fluthen am Tage ganz unmerklich werden müſsten, wenn sie von zwei Seiten her einträten und sich so wie ich oben erwähnte, ganz zerstörten; in dem Falle blieben also nur die Oscillationen der zweiten Art übrig, die freilich nach den Formeln verschwinden, wenn die Declination des Mondes = 0 ist.

Einigermaſsen hiermit verwandt scheint ein bei den Orkney-Inseln beobachtetes Phänomen zu seyn[1], wo nämlich, an der Westseite von Long-Island, vier Tage vor und nach den Quadraturen zwar das Steigen und Fallen des Wassers ordentlich wechselt, aber der Fluthstrom und Ebbestrom 12 Stunden lang die eine, und die übrigen 12 Stunden die entgegengesetzte Richtung hält, statt daſs in den Tagen um die Syzygien sich mit dem Steigen und Fallen auch die Richtung des Stromes alle 6 Stunden ändert. Auch dies scheint doch auf einem bei den Quadraturen merklicher werdenden Einflusse der täglich nur einmal wiederkehrenden Oscillationen zu beruhen, die freilich hier nicht auf eine kenntliche Weise von den Declinationen des Mondes abzuhängen scheinen[2].

---

1 Phil. Trans. 1665. p. 53.

2 Mir ist nicht bekannt, ob neuere Beobachtungen diese Angaben bestätigt haben.

31. An unsern deutschen Küsten, an der Nordsee, sind die Sturmfluthen merkwürdige, oft Unglück drohende und zuweilen Unglück bringende Ereignisse. Sie sind so deutlich Begleiter der Nordweststürme, dafs man diese wohl unbedenklich als ihre Ursache ansehen kann. Nach der Bemerkung der Bewohner jener Gegend sind die Stürme am gefährlichsten, die von Südwest über Westen nach Nordwest gehen, und sie sind am gefährlichsten dann, wenn sie sehr lange mit ungeschwächter Gewalt dauernd gegen die Zeit des höchsten Wassers mit voller Wuth fortwähren. Diese Winde, am meisten der Nordwestwind, treiben das Wasser gegen die deutschen Ufer und drängen es in die Mündung der Ströme hinein; sie hindern das Wasser, der Ebbe zu folgen, und veranlassen daher, dafs das Wasser oft die gewöhnliche Regel der Fluth und Ebbe nicht befolgt, sondern selbst wenn es Ebbe werden sollte, steigt. Die niedrigen Marschländer jener Gegenden sind mit Deichen, deren Höhe 15 bis 20 Fufs, ja an Stellen, die dem Wellenschlage sehr ausgesetzt sind, bis 24 Fufs über die mittlere Fluth beträgt, umgeben, aber dennoch ist es nicht selten, dafs die Wellen über diese Dämme hinüberschlagen und das Beispiel des vorletzten Winters hat gezeigt, dafs diese Höhe nicht hinreicht, um selbst ein fortwährendes Ueberströmen zu hindern.

Die Gefahr, die bei diesen Stürmen droht, besteht, selbst wenn das Wasser nicht über die Dämme strömt, darin, dafs die grofse Kraft der Wogen, die selbst Granitblöcke von mehrern Centnern fortwälzt, indem die Wellen überstürzend auf den Abhang des Deiches schlagen, Löcher auswühlt, die endlich zu einem Durchbruche Veranlassung geben können. Dieser Gefahr mufs ein gut angelegter, hoher, starker und hinreichend flach dossirter Deich widerstehen, und seit vielen Jahren ist auf die Art an den deutschen Ufern der Nordsee kein solcher Deichbruch entstanden. Wenn er entsteht, wie es ehemals öfter der Fall gewesen ist, so pflegt das an einer einzelnen Stelle durchströmende Wasser mit so ungeheurer Gewalt den übrigen Theil des Deiches wegzureifsen, dafs oft ein tief in den festen Boden des Landes selbst eingewühlter See von mehreren Morgen Landes grofs, auch nachdem die Fluth sich wieder verlaufen hat, übrig bleibt. Das so einstürzende Wasser reifst, wie ein gewaltiger Strom, alles mit sich fort, und bringt gewöhnlich ganze Gegenden in das gröfseste Unglück. Nicht ganz so gefährlich

ist es, wenn die Deiche überall gleichförmig gut und sicher sind, aber die Fluth so hoch steigt, dafs sie ganze Deichstrecken ziemlich gleichmäfsig überströmt, so wie es im vorletzten Winter an manchen Orten geschah, die daher auch weniger gelitten haben. Dann wird zwar auch durch den Ueberstarz der obere Theil des Deiches beschädigt, aber wenn der überstürzende Strom überall ziemlich gleich ist, so hat er wenigstens nicht ganz die Gewalt, wie im vorigen Falle, und es ereignet sich dann wohl, weil der ungemein hohe Stand der Fluth doch nicht lange dauert, dafs zwar das Land mit Wasser bedeckt, aber doch theils nicht so hoch und gewaltig überfluthet wird, theils wenigstens gegen die nächsten Fluthen, die bei fortwährend stürmischem Wetter auch noch hoch zu steigen pflegen, ziemlich gedeckt bleibt.

Seit dem Jahre 1717, wo am Weihnachtstage alle Marschen des nördlichen Deutschlands durch eine verheerende Ueberschwemmung furchtbar litten, hatten die Gegenden in der Nähe der Nordsee keine Ueberschwemmung erfahren. Die hohen Fluthen in den spätern Jahren des vorigen Jahrhunderts, unter denen die vom 19. December 1792 und 3. März 1793 (sie stiegen 19 Fufs über die gewöhnliche Fluthhöhe) am meisten wegen der drohenden, aber glücklich abgewandten Gefahr im Andenken sind, hatten, ungeachtet der furchtbaren Wuth des Sturmes, die Deiche nicht überstiegen, und man glaubte schon die Grenze der Fluthhöhe zu kennen und den Fluthen durch hinreichend hohe Dämme genügend entgegengebaut zu haben; aber der seltene Fall, dafs ein ungewöhnlicher Sturm mit den allerschlimmsten Stellungen des Mondes zusammenträfe, hatte sich, so viel man wufste, noch nicht ereignet, und dieser seltene Fall traf am 2. und 3. Februar 1825 ein. An diesen Tagen fielen nämlich Vollmond, Erdnähe des Mondes und beinahe auch Durchgang des Mondes durch den Aequator so nahe zusammen, dafs schon dadurch die Springfluth fast die gröfste mögliche Höhe erreichen mufste; indefs, dieser Fall war nicht unerhört, sondern er trifft im Laufe einiger Jahre nach gewissen Regeln immer von Zeit zu Zeit ein und ereignete sich in den ersten Tagen des März wieder; aber unglücklicher Weise vereinigte sich mit dieser Springfluth ein mit Gewitter begleiteter Sturm von ausgezeichneter Heftigkeit, der die zahlreichen Unglücksfälle zur Folge hatte, welche sich an jenen Tagen an allen

See- und Flufsküsten von Flandern bis nach Holstein ereigneten.

32. Ein noch schnelleres Steigen des Wassers, das aber immer nur wenige Minuten dauern und dann mit starkem Fallen wechseln soll, wird oft bei den Erdbeben beobachtet. MICHELL führt zum Beispiel[1] an, dafs bei dem fürchterlichen Erdbeben in Lissabon am 1. November 1755 die Sände sich anfangs vom Wasser entblöfst zeigten und dann plötzlich eine 50 Fufs hohe Welle aus dem Meere heranstürzte. Aehnliche, wenn gleich weit geringere, aber gleichfalls schnell wechselnde Schwankungen wurden an dem Tage jenes Erdbebens selbst in sehr entfernten Meeren, an den englischen und holländischen Küsten, ja selbst bis nach America hin wahrgenommen[2]. An den Küsten des Canals stiegen diese schnell wechselnden Schwankungen doch bis auf 6 Fufs.

33. Auch in den Strömen bietet die Fluth manche merkwürdige Phänomene dar. Am Meeresufer theilt sich der Zeitraum zwischen zwei Fluthen ziemlich gleich in Fluth und Ebbe; in den Flüssen dagegen dauert an jedem Orte die Ebbe länger als die Fluth. Der in den Flüssen allemal sehr merkliche Fluthstrom und Ebbestrom ist anfangs, kurz nach dem Wechsel des Stroms langsam und wird gegen die Mitte der Fluth und Ebbe stark, so dafs nach SAUMAREZ[3] in der Themse bei London der Fluthstrom beinahe 5 Fufs, der länger anhaltende Ebbestrom $3\frac{1}{2}$ Fufs in der Secunde zur Zeit der gröfsten Schnelligkeit durchläuft. Höher hinauf in den Strömen verliert sich der Fluthstrom und die Fluth besteht nur noch in einem Aufstauen, oder Anhalten des Ebbestromes.

Je höher man in den Strömen hinauf kommt, desto später kommt die Fluth dort an, daher sagen die Schiffer, wenn sie mit anfangender Fluth stromaufwärts segeln, dafs sie die Fluth mitbringen. Dagegen kommt ein den Strom hinabfahrender Schiffer, der mit der Ebbe fährt, der Fluth entgegen und geniefst die Vortheile der Ebbe nicht so lange, weil er allmählig an Orte kommt, die schon Fluth haben, wenn höher hinauf, wo er vor einigen Stunden abfuhr, die Ebbe noch dauert.

1 Phil. Transact. 1760. p. 566.
2 Ph. Tr. 1755. p. 351. sq. von Zach's Mon. Corr. XXVI. 146.
3 Phil. Trans. 1726. p. 68.

Die Fluthwelle setzt ihren Lauf stromaufwärts noch fort, während in der Mündung schon Ebbe eintritt, und daher kann es sich zum Beispiel bei Sturmfluthen ereignen[1], dafs die Fluthwelle erst in den obern Gegenden ankommt wenn der Sturm sich schon gelegt hat. Die sehr hoch angeschwellte Fluthwelle fängt dann zwar an zum Theil zur Mündung zurückzuströmen, aber zum Theil setzt sie ihren Sturz auch oberwärts fort.

Die Fluth erstreckt sich oft sehr tief in die Ströme hinein, wenn, wie es gewöhnlich der Fall ist, die Ströme an der Mündung sehr wenig Fall haben. Im Amazonenflusse soll die Fluth noch 200 französ. Meilen von der Mündung merklich seyn.

34. Oertliche Umstände bringen auch hier manche nicht so leicht zu erklärende Verschiedenheiten hervor. Ein Beispiel davon geben die *Leakies* in dem Flusse Forth[2]. Hier ist, nach Wrights Erzählung zwischen Queens-Ferry (7 engl. M. oberhalb Leith) und einem Orte, den er the house of Manor nennt, eine solche Krümme, dafs man auf dem Strome 25 engl. M., dagegen in gerader Linie nur 4 engl. M. hat. In dieser Gegend wird die Fluth einige Zeit durch ein Sinken des Wassers und die Ebbe durch ein Steigen des Wassers unterbrochen, und nachher geht in jenem Falle die Fluth, in diesem die Ebbe weiter fort. Diese Erscheiuung fängt gewöhnlich bei Queens-Ferry an, aber erst an einem höhern Puncte, wenn der Strom viel Wasser hat oder Springfluthen sind; dagegen erstreckt sie sich bei höherem Stromwasser oder Springfluthen höher hinauf bis oberhalb Stirling. Wright sucht die Ursache der Erscheinung nicht auf; sie mufs aber wohl darin liegen, dafs die Fluthwelle sich zertheilt in der Krümme vorwärts stürzt, was sich vielleicht durch die Zurückwerfung von den Ufern erklärt.

35. Ein sonderbares mit dem Einsturz der Fluth in einigen Strömen verbundenes, jedoch nur unter gewissen Umständen eintretendes Phänomen ist das, was man in der Dordogne *Mascaret*, an andern Orten la Barre, *the Bore* nennt. Der Mascaret oder die *Mascara* wird in der Dordogne[3] nur

---

1 Ein solches Beispiel gab die Fluth am 13. Dec. 1747 in Hamburg. Büsch's Wasserbaukunst. I. S. 214.

2 Ph. Trans. 1750. 412.

3 G. XXXIII. 407.

beobachtet, wenn das Wasser des Stromes niedrig ist, dann aber bei jeder Fluth. Er entsteht in geringer Entfernung von dem Puncte, wo die Dordogne sich in die Garonne ergiefst, und zeigt sich da als eine Wassermasse, die zuweilen nur von der Gröfse einer Tonne. zuweilen aber von der Gröfse eines kleinen Hauses ist. Diese Wassermasse wälzt sich sehr schnell, dicht am Ufer, mit grofsem Getöse den Strom hinauf fort, und wenn sie gegen harte Körper schlägt, zeigt sie eine so grofse Gewalt, dafs sie oft die steinernen Einbaue zertört und Schiffe versenkt oder zerbricht. An gewissen Stellen zertheilt sich der Mascaret in Wellen, weiterhin ist er wieder eine zerstörende Wassermasse u. s. w. Die Ursache dieser Erscheinung scheint in dem heftigen Einsturz der Fluth in die Dordogne zu liegen. Indem nämlich die Fluth zuerst in den weiten Meeresarm, die Gironde, und von da in die auch noch recht breite Garonne sehr frei eintritt, findet sie sich an der Mündung der viel engeren Dordogne, die sich gerade in der bisherigen Richtung der einstürzenden Fluth darbietet, plötzlich so umschlossen, dafs sie in dem engen Raume hoch anzuschwellen genöthiget ist, um das Wasser fortzuführen, was die grofse, nachdrängende Fluthwelle immer neu zuführt. So entsteht dieser einstürzende Wasserberg, der um so mächtiger ist, je weniger Wasser der Strom selbst entgegenführt, und der in der Dordogne mächtig ist, ohne es in der obern Garonne zu seyn, weil diese in schiefer Richtung eintretend von dem, seine vorige Richtung verfolgenden Wasser weniger empfängt.

Sehr ähnlich sind die Umstände in der Saverne, wo auch die in einem breiten Meeresarme eintretende Fluth sich plötzlich in ein viel engeres Flufsbette stürzt, und hier ist es noch weniger zu verwundern, wenn die so ungemein hoch, bis auf 45 Fufs steigenden Springfluthen sich wie ein Wall gegen 9 Fufs hoch gethürmt fortwälzen. In der Gegend der Saverne, wo dies geschieht, fluthet es nur 2 Stunden, und doch erreicht die Fluth eine Höhe von 18 Fufs, und jener Einsturz ist mit der zerstörendsten Wirkung für Schiffe, die nicht in Sicherheit gebracht sind, verbunden[1].

Sehr ähnlich ist auch la Barre oder die Prorora[2],

1 Ph. Tr. 1668. p. 812.

2 Annales maritimes 1824. Juill. et Aout. G. XXXIII. 410.

welche schon Condamine kannte. Nach Noyer's Beschreibung scheint sie aber aus dem Zusammentreffen der stark eindringenden Fluth mit dem Stromwasser des Amazonenflusses zu entstehen, wodurch „ein Kampf entgegengesetzter Kräfte, unterbrochene Wellen und heftige Stöfse von OSO und WNW hervorgebracht werden.“ Auch diese Erscheinung ist an seichten Stellen am stärksten.

Auch an der Mündung des Ganges soll eine ganz ähnliche Erscheinung vorkommen, und namentlich in dem Calcutta-River da anfangen, wo der Strom sich sehr verengert. *The Bore*, wie die Erscheinung dort heifst, durchläuft 70 engl. Meilen in 4 Stunden (das hiefse über 20 Fufs in der Secunde), und die Schiffe müssen sich in die Gegenden des Stroms begeben, wo der Zusturz der Fluth minder mächtig ist. Wenn es diese Mündung des Ganges also war, in welcher Alexander zum Indischen Meere hinabschiffte, so mag die Beschreibung, die Curtius von dem Zustande seiner Flotte während dieser Fluthen macht, doch nicht so übertrieben seyn, wie sie sonst wohl scheinen könnte. Denn wie so unbedeutende Schiffe hin und her, einander entgegen und auf Sandbänke und Untiefen geschleudert werden mochten, kann man sich vorstellen.

36. Das was in diesen Fällen die einstürzende Fluth bewirkt, wenn sie sich plötzlich in ein enges Bett eingeengt findet, scheint am 18. November 1824 in Petersburg die Sturmfluth gethan zu haben. Wenn hier bei einer genau die Richtung des Finnischen Meerbusens treffenden Richtung des Sturmes die Sturmfluthwelle sich in den Meerbusen stürzt, und sich nun in der Newa eingeengt findet, wo das zustürzende Wasser durch die Masse und Schnelligkeit des andringenden Wassers stark anzuwachsen genöthigt ist, so können gar wohl die plötzlichen und furchtbaren Erscheinungen entstehen, die uns in den Zeitungen erzählt wurden. Auch die Seltenheit dieser Erscheinung in Petersburg läfst sich dadurch wohl erklären, indem vermuthlich eine sehr bestimmte Richtung des Windes erfordert wird, wenn sie eintreten soll. *B.*

Ebbe und Fluth in der Atmosphäre. S. *Atmosphäre.*

Ebene.

Ebene Fläche; *Planum*; Plan; *Plane.*

Die Bestimmung dessen, was man im Allgemeinen unter einer Ebene versteht, wenn man z. B. von Ebenen redet, worin Puncte und Linien fallen, welche von Linien geschnitten werden, und gegen einander eine gewisse Neigung oder Richtung haben, gehört in die Geometrie. Aus dieser entlehnt dann die Naturlehre die erforderlichen Sätze, wenn in derselben z. B. von den Ebenen der Spiegel, denen, worin sich geworfene Körper bewegen, worauf das Auge gesehene Gegenstände projicirt u. v. a. die Rede ist. In der physischen Geographie stehen die Ebenen den Bergen und Thälern entgegen, und versteht man darunter solche ausgedehnte Flächen des Erdballes, auf welche überall die Falllinie normal gerichtet ist, also horizontale Ebenen. Vorzüglich bedient man sich in der theoretischen Mechanik oder der Dynamik der Ebenen als eines Hülfsmittels, um die Richtung der verschiedenen, einen gegebenen Punct sollicitirenden Kräfte und die hiernach entstehende Bahn desselben zu construiren. Sehr häufig denkt man sich alsdann unter den Ebenen solche Flächen, welche den bewegten Körpern einen unüberwindlichen Widerstand entgegensetzen, z. B. wenn von dem Drucke eines Körpsrs gegen dieselben und vom gänzlichen oder partiellen Ruhen eines solchen auf ihnen die Rede ist, in welchem letzteren Falle man die Richtung der Bewegung in Beziehung auf die Ebene zu zerlegen pflegt. Wird dann bei der Untersuchung der Bewegungsgesetze von der Schwere der Körper, vermöge welcher sie in lothrechter Richtung drücken oder zu fallen sollicitirt werden, abstrahirt, so kommt die Richtung der Ebenen gegen die Falllinie nicht in Betrachtung, wie dieses im Artikel *Bewegung* im Ganzen geschehen ist[1]; nimmt man aber hierauf Rücksicht, so sind die Ebenen entweder als *horizontale* oder als *geneigte* näher zu betrachten.

A. Horizontale Ebene.

Weil die Richtungslinie des Falles der Körper auf die horizontale Ebene normal ist, so kann ein auf derselben ruhender

1 Vergl. Th. 1. S. 959.

Körper nicht fallen, sondern wirkt bloſs durch seinen Druck, vorausgesetzt daſs die Ebene selbst fest ist und durch die Trennung ihrer Theile die angegebene Natur einer Ebene nicht ändert. Soll ein auf derselben ruhender Körper bewegt werden, so zerlegt man die eine oder die mehreren bewegenden Kräfte auf die im Artikel *Bewegung* angegebene Weise, und es ist an sich klar, daſs diejenigen verschwinden müssen, deren Richtung auf die Ebene normal ist. Rücksichtlich der praktischen Anwendung gehört zur Bewegung einer auf der horizontalen Ebene ruhenden Last nicht mehr Kraft, als erforderlich ist, die Trägheit derselben zu überwinden, und sie ist daher um so kleiner, je geringer die verlangte Geschwindigkeit ist, so daſs sie hiernach also verschwindend klein werden kann. Die zur Bewegung derselben in der Praxis wirklich verwandten Kräfte dienen also eigentlich nur zur Ueberwindung der Adhäsion und der Reibung. Uebrigens heiſst eine horizontale Ebene auch eine wagerechte, welches Gehler [1] von dem horizontalen Stande einer gewöhnlichen Waage ableitet, und werden die Werkzeuge, womit man dieselbe prüft, daher auch Bleiwaagen, Schrotwaagen, Wasserwaagen u. s. w. genannt.

B. Geneigte Ebene.

Die *geneigte Ebene,* auch *schiefe Ebene, geneigte oder schiefe Fläche;* planum inclinatum; plan incliné; *inclined plane* genannt, kann zur Erleichterung der Uebersicht aus drei verschiedenen Gesichtspuncten betrachtet werden, obgleich diese keineswegs wesentlich verschieden sind; zuerst wenn man die Gesetze eines auf derselben fallenden oder herabgleitenden, schweren Körpers untersucht, oder diejenigen Modificationen, welche die Gesetze des freien Falles der Körper durch den Widerstand der geneigten Ebene erleiden; zweitens wenn man das Verhältniſs der Kräfte und Gewichte bestimmt, welche bei einem schweren Körper im Gleichgewichte seyn müssen, wenn er durch die geneigte Ebene nur zum Theil unterstützt ist, mithin auf derselben herabzugleiten strebt, und an diesem Herabgleiten gehindert werden oder ruhen soll, womit dann die Frage über die zur Bewegung desselben auf-

1 Wörterb. a. A. II. 651.

wärts der geneigten Ebene erforderliche Kraft zusammenfällt; und drittens wenn man diejenigen Fälle erörtert, in denen die geneigte Ebene gegen eine gegebene Last bewegt wird. Bei den beiden ersteren Untersuchungen ist die Neigung der Ebene durch die unveränderliche Lage der horizontalen Ebene bedingt, bei der letzteren kommt nicht diese, sondern die Neigung gegen eine andere Ebene von willkürlicher Lage gegen die horizontale Ebene in Betrachtung. Ferner sind mit der ersteren Untersuchung die Gesetze des freien Falles zu genau verbunden, als daſs sie ohne diese verständlich werden könnte, und man verbindet daher am zweckmäſsigsten die Gesetze des freien Falles und des nicht freien oder auf gegebener Bahn mit einander. Wird aber rücksichtlich auf die dritte Untersuchung eine Bewegung der geneigten Ebene gegen eine gegebene Last angenommen, so wirkt dieselbe als mechanische Potenz, und kann daher am besten als solche betrachtet werden[1], mithin bleibt hier nur der zweite Fall zu untersuchen übrig.

Man pflegt meistens in den Lehrbüchern der Physik das Gleichgewicht zwischen einer gegebenen Last und der Kraft, womit dieselbe auf der geneigten Ebene zur Ruhe gebracht wird, auf die Gesetze des Falles auf der letzteren zurückzuführen, welche Methode auch einfach und zweckmäſsig ist, allein man kann auch auf die folgende Weise leicht zu dem nämlichen Ziele gelangen.

Fig. 8. Es sey AC horizontal, AB gegen diese um den Winkel α geneigt, der Durchschnitt eines auf der geneigten Ebene AB ruhenden Körpers sey l o K p q dessen Schwerpunct in k liege, so wird dieser in der Richtung k m zu fallen streben. Diese Linie läſst sich zerlegen in die componirenden k n und n m, wovon die erstere normal auf AB gerichtet ist, und durch den unüberwindlichen Widerstand derselben = 0 wird, die zweite aber das Verhältniſs der Kraft bezeichnet, womit die Last herabzugleiten strebt. Es sey nun ferner die Kraft, welche das Herabgleiten des Körpers hindert, in K befestigt, und in der Richtung KE wirkend, so läſst sich auch diese als die Resultirende der zwei componirenden r s und r K ansehen, wovon die erstere auf AB normal ist, und daher entweder den Druck

1 S. *Potenz*, *mechanische*.

des Körpers gegen die geneigte Ebene vermehrt oder partiell aufhebt, die andere aber mit AB parallel das Herabgleiten desselben hindert. Die Geometrie aber lehrt, daſs die Dreiecke n k m; n′K m′; r K s ähnlich sind, und diese Construction wird daher stattfinden können, wo auch immer die bewegende Kraft KE angebracht seyn mag, wenn man bei der wirklichen Ausübung vorläufig von der Reibung und einer Umwälzung des Körpers durch die Kraft KE abstrahirt. Heiſst also der Winkel BAC $= \alpha$; das absolute Gewicht des Körpers $=$ P, so ist kn oder die Kraft, womit der Körper gegen die Ebene drückt $=$ P. Cos. α und mn, womit er herabzugleiten strebt $=$ P. Sin. α. Letzteres Gewicht, im Gegensatze gegen sein absolutes, heiſst sein *relatives* oder *respectives* Gewicht.

Wenn auf gleiche Weise EFC $= \beta$ genannt wird, die in der Richtung KE wirkende Kraft aber $=$ Q, so ist rs $=$ Q. Sin. $(\beta - \alpha)$ und rK $=$ Q. Cos. $(\beta - \alpha)$. Soll also der Körper wirklich ruhen, so muſs P. Sin. $\alpha =$ Q. Cos. $(\beta - \alpha)$ seyn, wonach die seinem Falle entgegenwirkende Kraft $Q = \frac{P.\ \mathrm{Sin.}\ \alpha}{\mathrm{Cos.}(\beta - \alpha)}$ wird. Ist die Richtung der bewegenden Kraft mit AB parallel, so wird $\beta = \alpha$ und es ist daher Q $=$ P. Sin. α, welcher Fall beim Fahren der Wagen auf Anhöhen am häufigsten vorkommt; ist dagegen die Richtung der bewegenden Kraft oder KE mit AC parallel, also in der Anwendung horizontal, so wird $\beta = 0$, und da Cos. $-\alpha =$ Cos. α ist, so wird Q $=$ P. Tang. α. Der erste Fall heiſst in Worten ausgedrückt: *Unter jener Bedingung verhält sich die bewegende Kraft zur Last, wie die Höhe der geneigten Ebene zu ihrer Länge;* der zweite dagegen heiſst: *Unter dieser Bedingung verhält sich die bewegende Kraft zur Last, wie die Höhe der geneigten Ebene zu ihrer Basis.* Es folgt endlich aus dem Vorigen von selbst, daſs der Druck, welchen die Fläche erleidet, in Beziehung auf die drückende Last $=$ P. Cos. α und in der Rücksicht der bewegenden Kraft $=$ Q. Sin. $(\beta - \alpha)$ ist. Letztere Gröſse ist, wie aus der Construction folgt, negativ, wenn $\beta > \alpha$ ist, wird $= 0$, wenn $\beta = \alpha$, und positiv, wenn $\beta < \alpha$ ist. Hieraus kann die Summe und die Differenz beider Drucke leicht gefunden werden[1].

1 Vergl. Poisson Traité de Mécanique, Par. 1811. II Vol. 8. I. 126. u. 495. Was Gehler Th. III. p. 837 weiter über die Theorie erwähnt, auf welche Stevin, Varignon und Wolf dieses Problem zurückgeführt haben, scheint mir für den Physiker überflüssig zu seyn.

Nimmt man auf die Reibung Rücksicht, so ist diese der Last proportional, und mufs also durch die Summe des Druckes der Last und der bewegenden Kraft erzeugt werden. Wird diesem nach der Reibungscoefficiant durch f bezeichnet; so ist die Friction $= f\,(P.\ \text{Cos.}\ \alpha - Q.\ \text{Sin.}\ (\beta - \alpha))$. Soll die Kraft blofs das durch die Reibung erschwerte Herabgleiten hindern, so mufs $Q. \text{Cos.} (\beta - \alpha) = P. \text{Sin.}\ \alpha - f P. \text{Cos.}\ \alpha - Q. \text{Sin.} (\beta - \alpha)$ seyn, woraus $Q = \frac{P.\ (\text{Sin.}\ \alpha - f.\ \text{Cos.}\ \alpha)}{\text{Cos.}\ (\beta - \alpha) - f.\ \text{Sin.}\ (\beta - \alpha)}$ wird.
Wenn dagegen Q nicht blofs die Last im Gleichwichte erhalten, sondern auch die Reibung ganz überwinden soll, so dafs die geringste Zugabe der Kraft eine wirkliche Bewegung erzeugen würde; so mufs $Q. \text{Cos.} (\beta - \alpha) = P. (\text{Sin.}\ \alpha + f. \text{Cos.}\ \alpha) - Q f \text{Sin.} (\beta - \alpha)$ seyn, woraus $Q = \frac{P.\ (\text{Sin.}\ \alpha + f.\ \text{Cos.}\ \alpha)}{\text{Cos.}\ (\beta - \alpha) + f \text{Sin.}\ (\beta - \alpha)}$ wird.
Berücksichtigt man hierbei den oben erwähnten Fall, in welchem die bewegende Kraft mit der schiefen Fläche parallel, also $\beta = \alpha$ ist, so wird für die erste Bedingung, dafs nämlich die bewegende Kraft den durch die Reibung am Herabgleiten gehinderten Körper in Ruhe erhalten soll

$$Q = P\ (\text{Sin.}\ \alpha - f.\ \text{Cos.}\ \alpha).$$

Setzt man hierin $Q = 0$, oder würde angenommen, dafs der Körper durch seine Reibung allein herabzugleiten verhindert wäre, so müfste $P. \text{Sin.}\ \alpha = P f. \text{Cos.}\ \alpha$ werden, und es liefse sich hieraus $f = \frac{\text{Sin.}\ \alpha}{\text{Cos.}\ \alpha} = \text{Tang.}\ \alpha$ also der Reibungscoefficient aus der Tangente des Neigungswinkels der geneigten Ebene finden. Kommt auf die hier angegebene Weise ein Körper auf der geneigten Ebene durch seine blofse Reibung bei einem Elevationswinkel $= \alpha$ zur Ruhe, so heifst dieser Winkel dann der *Ruhewinkel*. Sofern man aber aus diesem Winkel bei bekanntem absolutem Gewichte des Körpers sein relatives, und hierdurch den Reibungscoefficienten findet, heifst derselbe auch der *Reibungswinkel*. Für den oben erwähnten zweiten Fall aber, wenn nämlich die Richtung der bewegenden Kraft mit der Basis der Ebene parallel, also $\beta = 0$ ist, wird unter der gleichen Bedingung, nämlich dafs die Kraft dem durch Reibung am Herabgleiten gehinderten Körper das Gleichgewicht halten soll, $Q = \frac{P\ (\text{Sin.}\ \alpha - f.\ \text{Cos.}\ \alpha)}{\text{Cos.}\ \alpha + \text{Sin.}\ \alpha}$.

Soll in beiden Fällen aber die bewegende Kraft nicht bloſs der Last, sondern auch ihrer Reibung gleich seyn, so daſs durch die geringste Vermehrung derselben eine wirkliche Bewegung entstände, so ist

für den ersten Fall $Q = P\ (\mathrm{Sin.}\ \alpha + \mathrm{f.\ Cos.}\ \alpha)$

für den zweiten Fall $Q = \frac{P\ (\mathrm{Sin.}\ \alpha + \mathrm{f.\ Cos.}\ \alpha)}{\mathrm{Cos.}\ \alpha + \mathrm{Sin.}\ \alpha}$.

Zur Erläuterung, wenn auch weniger zum Beweise der Richtigkeit der hier vorgetragenen Sätze, dient folgende Maschine. Auf dem horizontalen Brette AB befindet sich das eingelassene, vermittelst der Charniere k bewegliche Brett l e, dessen Elevation an dem getheilten Bogenstücke DC gemessen wird, woran dasselbe vermittelst einer Klemmschraube festgehalten werden kann. Man stellt dasselbe auf einen beliebigen Winkel, legt die an ihrer Axe mit einem Faden gehörig befestigte Kugel oder einen kleinen Wagen mit sehr leicht beweglichen Rädern und von genau bestimmtem Gewichte darauf, führt den Faden über die Rolle g, und beschwert ihn am Ende mit dem Gewichte Q. Die Elevation des Brettes e l giebt den Winkel α, uud die höhere oder niedrigere Stellung des Bogenstückes i h, dessen Centrum sich in dem Mittelpuncte der zu bewegenden Last oder in c befinden müſste, kann gehörig eingerichtet den Winkel β für diejenigen Fälle geben, wenn $\beta > \alpha$ oder $\beta = \alpha$ ist, mit gröſserer Schwierigkeit auch für diejenigen, wenn $\beta < \alpha$ wird. Hiernach findet man also das Verhältniſs von Q zu P durch Versuche. Statt der Kugel oder des kleinen Wagens kann auch ein Klötzchen genommen, und somit also der Reibungscoefficient gefunden werden [1]. Fig. 9.

Die hier gegebene Demonstration [2] ist am leichtesten und in eigentlicher Strenge anwendbar, wenn die bewegende Kraft im Schwerpuncte selbst angebracht ist, oder wenn die durch den letzteren gezogene Falllinie verlängert die Richtung der bewegenden Kraft trifft, am allerleichtesten, wenn der fallende

---

1 Vergl. Encyclopédie méthodique. Physique IV. 318.

2 Vergl. H. W. Brandes Lehrbuch der Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung fester und flussiger Körper. Leipzig. 1817. I. 91, Eytelwein Handbuch der Statik fester Körper. Berl. 1808. I. 239. ff. Vega Vorlesungen über die Mathematik Bd. III. Wien 1818. S. 158. u. v. a.

Körper die Kugelform hat, in welchem Falle dann auch die Reibung wegfällt. Anderweitig bedingte Fälle, z. B. wenn der Körper so geformt ist, dafs er in demjenigen Puncte, in welchem der aus seinem Schwerpuncte auf die geneigte Ebene gefällete Perpendikel diese trifft, sie nicht berührt u. a. m. lassen sich nach den angegebenen Grundsätzen leicht construiren, und gehören eigentlicher in die Mathematik.

Die geneigte Ebene kommt hauptsächlich in Anwendung, wenn man dieselbe, wie schon erwähnt ist, als mechanische Potenz betrachtet, noch mehr aber in den täglich wiederholt vorkommenden einfachen Fällen, in denen Lasten auf derselben bewegt werden müssen. Indefs kommen noch drei bekannte physikalische Probleme hierbei in Betrachtung, welche eine nähere Erörterung erfordern, nämlich der sogenannte berganlaufende Cylinder, der berganlaufende Kegel und die Quecksilberuhr.

Fig. 10. 1. Der *berganlaufende Cylinder* wird 6 bis 9 Zoll hoch und 1 bis 2 Z. dick aus leichtem Holze oder noch besser aus starker Pappe und hohl gemacht. In g befindet sich nahe am Rande ein der Gröfse und dem Gewichte des Cylinders angemessener Cylinder von Blei, oder es wird ein Stück Blei inwendig an der inneren Seite des Cylinders befestigt. Durch das gröfsere Gewicht des Metalles fällt der Schwerpunct nicht in die Mitte des Cylinders, sondern es werde angenommen, er falle in e. Um dann zu bestimmen, in welcher Lage derselbe auf einer Ebene BAC, deren Neigungswinkel $= \alpha$ seyn möge, zur Ruhe kommen, sich aufwärts bewegen oder herablaufen wird, ist es am kürzesten, die Bedingung des Ruhens zu suchen, wobei vorausgesetzt wird, dafs der Schwerpunct nach der Erhöhung der Ebene hin liege, weil der Cylinder sonst nothwendig herabrollen mufs. Ist dann a c auf die Ebene AB lothtrecht, a b die Falllinie aus dem Centro des Cylinders, e d aus dem Schwerpuncte desselben, so sind beide einander parallel. Weil aber der der Cylinder nur dann ruhen kann, wenn c und d in einen Punct zusammenfallen, so mufs er in dem durch die Figur dargestellten Falle so lange aufwärts rollen, bis dieses wirklich eintrifft, und dann ruhen. Senkte man die Ebene AB auf AC, so würde der Schwerpunct e in die Linie a c fallen, erhebt man dagegen AB, so beschreibt e um a einen Kreis, und die gröfste Neigung findet dann statt, wenn a e d einen rechten Winkel bildet. Denn weil im Zu-

stande der Ruhe die Puncte c und d allezeit zusammenfallen, so ist für den angegebenen Fall ade = bac = α; und da ae: ac = Sin. ade = Sin. α ist, so wird die Ebene am stärksten geneigt seyn, wenn Sin. α = ae: ac ist. Kennt man also den Halbmesser des Cylinders und den Abstand des Schwerpunctes vom Centro desselben, so kann man hieraus die gröſste Neigung der Ebene für den Zustand des Gleichgewichts finden. Umgekehrt läſst sich aus dem Halbmesser des Cylinders und der Neigung der Ebene der Abstand des Schwerpunctes vom Centro finden, indem ae = ac Sin. α. Wird die Neigung der Ebene erhöhet, so wird der Winkel bei e kleiner als ein rechter, die Linie ed schneidet die Linie ac und der Punct d fällt über c hinaus nach b hin, findet also keine Unterstützung, und der Cylinder rollt die Ebene herab[1]. Wenn man dem Schwerpuncte nur ein kleines Uebergewicht verstattet, so erhält man eine Kraft, welche ein im Cylinder befindliches Räderwerk umtreiben, und durch ein Hemmwerk so regulirt werden kann, daſs das Aufsteigen oder Herabrollen des Cylinders ein darin eingeschlossenes Uhrwerk treibt. Eine solche Uhr, die sich selbst eine schiefe Fläche hinabtreibt, und durch das Aufwälzen wieder aufgezogen wird, beschreibt Robert Wheeler[2].

2. Noch weit einfacher ist die Theorie und Construction des sogenannten berganlaufenden Kegels, eines doppelten Kegels, welcher die zwei schiefen Flächen CA und CB hinaufläuft. AC, BC sind nämlich zwei in C vereinigte Leisten, 0,25 bis 0,5 Z. dick und etwa 1 Z. hoch. Bei A und B müssen dieselben höher seyn, so daſs jede eine von C aus ansteigende geneigte Ebene bildet, oder sie werden vermittelst zweier Schrauben hier höher gestellt. Die Länge derselben ist unter sich gleich, übrigens willkürlich, die Differenz ihrer Höhe in A und B gegen C wird durch die Dicke des Kegels bestimmt, und zwar muſs sie geringer seyn als $\frac{1}{2}$ cd; die Entfernung zwischen A und B ist aber gleich der Länge der Axe des doppelten Kegels = ab. Wie die Figur zeigt kommt der Kegel auf seiner Unterlage allezeit so zu liegen, daſs seine

Fig. 11.

1 Desaguliers Cours de Phys. expér. 1. 58. beschreibt diesen Cylinder, und giebt p. 81 ff. eine sehr weitläuftige Demonstration des Phänomens. Vergl. Kästner in deutsche Schriften d. Kön. Ges. d. Wiss. Gött. 1771. p. 113.

2 Phil. Trans. N. 161. p. 647.

eigenen schiefen Flächen die schiefen Flächen CA und CB berühren, und wenn die ersteren dann stärker geneigt sind als die letzteren, so wird er mit einer der Differenz dieser beiden proportionalen Geschwindigkeit herabrollen, obgleich er dem Ansehen nach auf der ersteren aufwärts zu rollen scheint. Sind beide Flächen gleich stark geneigt, so wird der Kegel an allen Orten ruhen, auch ist die Länge der zur Unterlage dienenden geneigten Ebenen deswegen gleichgültig, weil bei zunehmender Länge die Neigung auf eine gröfsere Strecke vertheilt wird, dann aber auch die Schneckenlinie, welche um jede Hälfte des Kegels beim Herabrollen beschrieben wird, mehrere Windungen erhält[1].

3. Die Quecksilber-Uhr ist eine ganz interessante, zur Erläuterung der Lehren vom Schwerpuncte und der schiefen Fläche dienende Spielerei. Sie ruhet auf einem Gestelle aus
Fig. 12. dünnen Stäben CA, C'A', BA, B'A'; wovon erstere lothrecht stehen, letztere gegen den Horizont geneigt sind. Der eigentliche Körper ist aus Glas verfertigt, ein runder Kranz amna, bestehend aus hohlen, durch enge Zwischenröhren verbundenen Kugeln, worin sich eine verhältnifsmäfsige Menge Quecksilber befindet, so dafs etwa zwei der hohlen Räume, m und n, damit gefüllt sind. Vermittelst dreier pergamentener oder aus Fischbein verfertigter Speichen ist dieser Kranz an eine kleine hölzerne Walze c befestigt, welche mit ihren beiden Enden auf den beiden parallelen und gleichmäfsig gegen den Horizont geneigten Stäben AB, A'B' aufliegt, und durch zwei um sie gewickelte, in A und A' befestigte Fäden in horizontaler Lage getragen wird. Ohne das enthaltene Quecksilber würde der Schwerpunct des Kranzes in die Mitte der Axe c fallen, die Fäden würden sich abwickeln, und der Kranz auf der geneigten Ebene herabrollen; allein dieses wird verhindert durch das in den Räumen m und n befindliche Quecksilber, welches durch die gegenüberstehende leichtere Seite a nicht gehoben werden kann, und daher erst durch die engen Zwischenräume abfliefsen mufs, wenn der Kranz weiter herabsinken soll. Je enger diese Räume im Verhältnifs zu der Menge dieses Quecksilbers sind, um so langsamer wird dieses Herabfallen stattfinden, und wenn die engen Canäle sämmtlich gleich weit sind,

1 Vergl. Kraft in Nov. Com. Pet. VI. 389. Ausführlich handelt darüber Kononoff in. Nov. Act. Pet. VII. 229.

so wird dieses in einer regelmäfsigen Zeit geschehen, so dafs die Bewegung der einer Uhr gleicht, und auch diese wie eine Sanduhr zum Zeitmafse dienen könnte[1].

Unter die bedeutendsten Anwendungen der geneigten Ebene gehören die sogenannten trocknen Schleusen (écluses sèches), vermittelst derer man die Schiffe aus einem Canale oder Wasserbehälter in einen andern auf einer schiefen Fläche aufwärts bewegt oder auch herabgleiten läfst. Eine der merkwürdigsten Vorrichtungen dieser Art ist diejenige, welche der Herzog von Bridgewater durch den Ingenieur Brindley erbauen liefs, um eine Verbindung zwischen zwei Wasserbehältern herzustellen, die einen Theil eines Canales von 52 engl. Meilen bilden, bestimmt zum Transporte der Steinkohlen von Worsley, wo sie gegraben werden, bis an den Flufs Merisey, von wo sie nach Liverpool und in die See kommen. Die geneigte Ebene ist 453 engl. Fufs lang und auf 4 F. ohngefähr einen Fufs geneigt. Man erhebt hier die Schiffe bis zu 106 engl. F. lothrechte Höhe, welches die Differenz des Niveaus beider Wasserbehälter ist[2].

Sehr häufig bedient man sich der geneigten Ebenen, um Lasten durch ihr eigenes Gewicht von einer Höhe herabzubringen. Dahin gehören die Vorrichtungen, vermittelst deren z. B. die Steinkohlen zu Newcastle in Rollwagen geladen werden, welche dann durch ihr Gewicht bis über die Schiffe herabrollen, wo ihre Kasten umschlagen und sich ausleeren. Solcher Wagen sind in der Regel zwei an ein gemeinschaftliches, über eine Rolle gehendes Seil befestigt, so dafs der beladene durch sein Uebergewicht den leeren wieder heraufzieht. Aehnlicher Maschinerien bedient man sich, um die Erze von den Bergen herabzuschaffen, auch lassen sie sich zum Abtragen der Berge gebrauchen.

Eine wegen ihrer Gröfse stets denkwürdige geneigte Ebene ist diejenige, welche Joh. Rupp im Jahre 1816 anlegte, um das seit undenklicher Zeiten unbenutzte Holz der Urwälder auf dem Pilatusberge in der Schweiz darauf herabgleiten zu lassen. Sie lief bald gerade, bald in Windungen unter einem Winkel

---

1 Ein solcher Apparat befand sich ehemals im Cabinette zu Göttingen; sonst ist mir keine Beschreibung desselben bekannt geworden.

2 S. Encyclopédie méthod. a. a. O. p. 319.

von 10° bis 18° stellenweise unter der Erde, sonst aber im Allgemeinen auf Böcken von 10 bis 120 F. Höhe, eine Strecke von drei Stunden herab, war aus geschälten Tannen muldenförmig zusammengesetzt, und hatte eine Breite von 6 Fuſs bei einer Tiefe von 3 bis 6 Fuſs. Im Ganzen wurde sie durch 2000 Joche getragen, die gegen 10 Fuſs von einander abstanden, und deren Befestigung oft mit unglaublichen Schwierigkeiten verbunden war. Es wurden 25000 Stämme Holz dazu verwandt, welche ohne alles Eisen künstlich zusammengesetzt waren, der Bau beschäftigte im Mittel 160 Menschen 1,5 Jahre und kostete über 100000 Gulden. Nachdem das Werk aller unübersteiglich scheinenden Hindernisse ungeachtet endlich vollendet war, glitten die groſsen, 100 F. langen und am dünnsten Ende noch 10 Z. dicken Tannen mit solcher Schnelligkeit darauf herab, daſs sie den Weg von drei Stunden in nicht mehr, als drittehalb Minuten zurücklegten, und den unten stehenden Beobachtern nicht länger als einige Fuſs zu seyn scheinen. Der Sicherheit wegen hatte der Mittelbaum in seiner ganzen Länge eine Rinne, in welche durch angebrachte Zubringer von vielen Stellen stets Wasser herablief und das Holz benetzte. Zur Erhaltung der Ordnung waren an der ganzen Strecke Arbeiter angestellt, wovon der unterste rief: *Laſs laufen;* dieser Ruf kam etwa in 3 Minuten vermittelst der zwischenstehenden Arbeiter oben an, ein Baum wurde losgelassen mit dem Rufe: *Er kommt*, und so glitt alle 5 bis 6 Minuten ein Baum herab, wenn nicht etwas an der Leitung verdorben war, was sofort ausgebessert wurde. Um die Kraft des anprallenden Holzes zu zeigen, lieſs Rupp einige Bäume seitwärts herausschieſsen; sie drangen mit ihrem dicken Ende 18 bis 24 Fuſs tief in die Erde ein, und als zufällig ein liegender von einem herabgleitenden getroffen wurde, spaltete dieser ihn wie der Blitz von einem Ende zum andern[1].

Die geneigten Ebenen kommen unter andern hauptsächlich auch dann in Betrachtung, wenn es sich darum handelt, daſs Menschen, Thiere und Lasten auf denselben hinauf oder herab bewegt werden sollen, ohne übermäſsige oder unmögliche Anstrengung im ersten und ohne Gefahr im letztern Falle. Um von dem Vielen, was die praktische Anwendung

---

1 G. LXII. 102.

hierbei zu erörtern fordert, nämlich von der bergauf oder bergabwärts gehenden Bewegung unbelasteter oder mit verschiedenen Gewichten belasteter Menschen, Pferde, Maulthiere u. s. w. Chaisen, leerer oder beladener Wagen, Frachtwagen, Munitionswagen, Geschütze u. dergl. m., jederzeit mit Rücksicht auf die erforderliche Geschwindigkeit und Sicherheit, nur einige Hauptsachen namhaft zu machen, möge Folgendes genügen. Wenn man mit Langsdorf[1] glatte aber nicht beeisete Strafsen annimmt, deren Neigungswinkel = Sin. α ist den Schub, welchen das selbst schräg stehende Pferd auszuhalten vermag = (1 — 3 Sin. α) 70 ℔. setzt, um nicht zu viel zu rechnen, und zu vollkommener Sicherheit die durch einen Hemmschuh bewirkte Reibung zu $\frac{1}{12}$ der Last schätzt, ferner das Gewicht der Ladung für ein Pferd = P; das eines einspännigen Fuhrwerks = p und die Zahl der Pferde = N nennt, so ist die Kraft des Schubes für ein Pferd beim Herabfahren = (P + p) Sin. α — $\frac{1}{12}$ (P + p) und für N Pferde = N (P + p) (Sin. α — $\frac{1}{12}$). Wenn also n Pferde das Fuhrwerk aufhalten, so hat man für den Zustand des Gleichgewichtes:

$$n\,(1 - 3\,\text{Sin.}\,\alpha)\,70 = N\,(P + p)\,(\text{Sin.}\,\alpha - \tfrac{1}{12})$$

Hieraus findet man

$$\text{I.}\quad \text{Sin.}\,\alpha = \frac{70.\,n + \frac{N\,(P + p)}{12}}{210.\,n + N\,(P + p)}$$

$$\text{II.}\quad P = \frac{n\,(1 - 3\,\text{Sin.}\,\alpha)\,70}{N\,(\text{Sin.}\,\alpha - \frac{1}{12})} - p$$

$$\text{III.}\quad N\,P = \frac{n\,(1 - 3\,\text{Sin.}\,\alpha)\,70}{\text{Sin.}\,\alpha - \frac{1}{12}} - N\,p.$$

Setzt man hierin für einen Wagen allezeit n = 2; bei einer Bespannung mit 6 Pferden P = 1600 ℔.; p = 200 ℔; so wird Sin. $\alpha = \frac{1}{11}$ d. h. der Neigungswinkel einer glatten Strafse darf 5° 13′ nicht übersteigen, wenn ein sechsspänniger Wagen mit einem Hemmschuh und durch das Aufhalten der beiden hinteren Pferde sicher herabfahren soll. Wird Sin. α = $\frac{1}{12}$ = 4° 47′, so wird N (P + p) (Sin. α — $\frac{1}{12}$) = 0 d. h. der Wagen wird durch die Reibung des Hemmschuhes allein in Ruhe kommen, und bedarf des Aufhaltens der Pferde nicht.

---

1 Gemeinfassliche Anleitung zum Strafsen- und Brückenbau Heidelb. 1817. 8. p. 17.

Setzt man Sin. $\alpha = 0,1 = 5^\circ\ 44'$, so wird aus II. gefunden $P = 535$ ℔., also für 4 Pferde $NP = 2140$ ℔., d. h. bei einem Steigen von 1 F. auf 10 der Länge eines Weges darf ein vierspänniger Wagen nur mit 21 bis 22 Ctr. belastet seyn, wenn man bei glatten Winterwegen, jedoch ohne Eis, mit Sicherheit auf die Hemmung durch Hemmschuh und die Hinterpferde rechnen will.

Will man die Last finden, welche auf Wagen eine ansteigende glatte Strafse hinangefahren werden kann, so darf man gleichfalls mit Langsdorf [1] annehmen, dafs zur Ueberwindung der Reibung in diesem Falle $\frac{1}{18}$ der Last als Kraft erfordert wird. Hiernach ist, wenn die eben gebrauchten Bezeichnungen beibehalten werden, und man die horizontale Kraft eines Pferdes $= 185$ ℔. setzt, diejenige aber, welche dasselbe berganziehend, also selbst in einer geneigten Stellung, ausüben kann, $= (1 - 2\ \text{Sin.}\ \alpha)\ 185$ ℔; die zu überwindende Last $= (\frac{1}{18} + \text{Sin.}\ \alpha)\ (P + p)$ ℔., welcher also seine Kraft gleich seyn mufs. Jene Bestimmung setzt übrigens voraus, dafs die Kraft eines Pferdes von mittlerer Stärke nicht gröfser angenommen werde, als welche dasselbe etwa 8 Stunden des Tages anwenden kann [2]. Diesem nach wird also $(\frac{1}{18} + \text{Sin.}\ \alpha)\ (P + p) = (1 - 2\ \text{Sin.}\ \alpha)\ 185$. Werden hierin die oberen Werthe von P und p genommen, so findet man Sin. $\alpha = \frac{1}{25} = \text{Sin.}\ 2^\circ\ 18'$, und der Weg darf nur auf 25 F. der Länge 1 F. Erhöhung haben, wenn ein beladener Wagen ohne Vorspann und übertriebene Anstrengung des Zugviehes hinaufgefahren werden soll. Setzt man in der Formel Sin. $\alpha = 0$, so findet man $P = \frac{185}{\frac{1}{18}} - p = 3330 - p$ und für $p = 200$ substituirt gäbe eine Last von $31\frac{1}{3}$ Ctn., welche für ein Pferd von mittlerer Stärke auf völlig ebener Strafse gerechnet werden könnte.

Im Allgemeinen läfst sich noch Folgendes annehmen [3].

---

1 a. a. O. p. 82.

2 Vergl. *Kraft, der Menschen und Thiere.*

3 v. Humbolt Reisen d. Ueb. I. 224. Ausführlicher hierher handelt G. W. Leonhardi in Vorlesungen über d. Anfangsgründe der Mathem. Bd. IV.

Eine Elevation der Strafsen von 5° oder 1 F. Erhebung auf 11,5 F. ist schon eine starke Neigung für das Fuhrwesen, und kann bei voller Ladung ohne Vorspann nicht befahren werden, denn dieses würde sonst, die oberen Werthe von P und p angenommen eine Zugkraft von 310 ℔. für ein Pferd erfordern; worauf für eine längere Zeit nicht mit Sicherheit zu rechnen ist, obgleich sie für eine kurze Zeit und durch ungewöhnliche Anstrengung allerdings überwunden werden kann. Nach dem Gesetze dürfen daher die Chausseen in Frankreich nur 4° 46′ geneigt seyn, oder für 13 F. Länge 1 F. Erhebung haben, welches unter den angegebenen Bedingungen eine Zugkraft von 282 F. erfordert. Ein um 15° geneigter Berg kann mit einem beladenen Wagen nicht mehr hinabgefahren werden; denn nähme man das Gewicht eines vierspännigen Wagens zu 800 ℔. an, welcher unbeladen mit einem Hemmschuhe durch zwei Pferde aufgehalten werden sollte, so würde nach der oben angegebenen Formel statt des dort angenommenen Schubes von 70 ℔. vielmehr 313 ℔., für jedes Pferd kommen, bei einem mit 1600 ℔. auf jedes Pferd beladenen Wagen aber gar 2819, welche auszuhalten unmöglich ist. Setzt man bei einer Schleife die Reibung $= \frac{1}{3}$ der Last, so wird in der oben angegebenen Formel, wenn man P und p einen willkürlichen Werth giebt, also für jede mögliche Belastung und jedes Gewicht der Schleife $(P + p)$ Sin. $15° - \frac{1}{3}(P + p)$ die Kraft des Herabgleitens negativ, weil Sin. $15° = 0{,}2588$, also kleiner als $\frac{1}{3}$ ist; d. h. in diesem Falle würde noch eine Kraft erforderlich seyn, um die Last auf der Schleife von der Anhöhe herabzubringen. Erst bei einer Elevation von 19° 28′ würde in diesem Falle die Last der zu überwindenden Reibung gleich seyn, weil Sin. $19° 28' = 0{,}333258$ also nahe $= \frac{1}{3}$ ist.

Eine Neigung von 37° ist zu Fufse unzugänglich, wenn man keine Staffeln eingraben kann, also auf kurzem Rasen oder nackten Felsen, denn der menschliche Körper fällt rückwärts, wenn das Schienbein mit der Fufssohle einen kleineren Winkel als $90° - 37° = 53°$ macht. Eine Neigung von 42° ist die stärkste, welche erstiegen werden kann, wenn man mit dem Fufse Staffeln in den Boden graben kann, oder sich Hervorragungen finden, worauf der Fufs eine Haltung erhält. Beim Ausgleiten müfste der Mensch herabfallen, wenn man die Reibung nicht stärker als $\frac{1}{3}$ der Last annehmen darf,

indem hierfür die steilste Neigung keine 20° beträgt. Die mittlere Neigung der fast unersteiglichen vulcanischen Kegel beträgt 33° bis höchstens 40°, und nur die steilsten kurzen Partieen betragen 40° bis 42°. *M.*

Echo.

Wiederhall, in alle neueren Sprachen aus dem griechischen Worte ἠχώ, *Ton, Geräusch, Echo,* übergegangen, bezeichnet sowohl die Zurückwerfung der Schallstrahlen oder Schallwellen von irgend einer reflectirenden Fläche, als auch die Flächen selbst, von welchen diese Reflection geschieht, mithin sowohl die Wirkung als auch die Ursache des Wiederhallens. Inzwischen fallen diese beiden Bedeutungen des Wortes so nahe zusammen, dafs die Zweideutigkeit von gar keinem Belange ist, auch hat man im Allgemeinen die Erscheinung allezeit richtig erklärt, insofern man das Echo für die Wirkung des von irgend einem geeigneten Gegenstande reflectirten Schalles hielt. Auf diese Erklärung führen die einfachsten und gemeinsten, täglich wiederkehrenden Erfahrungen. Wenn man nämlich ein Buch vor dem Gesichte haltend laut lieset oder gegen eine Wand gekehrt redet, so empfindet man deutlich die wieder entgegenkommenden Schallwellen, welches eine Art Echo im Kleinen ist. Wird indefs das Phänomen des Echo's genauer untersucht, so kommen dabei verschiedene Gegenstände in Betrachtung, welche am besten einzeln untersucht werden.

1. Die reflectirenden Flächen.

Die eben erwähnte Erscheinung der Reflection des Schalles von den verschiedensten nahen Gegenständen und die häufig beobachteten ähnlichen Wirkungen des Wiederhallens von entfernteren Wänden, Mauern, Häusern, Ufern u. dgl. m. zeigt zwar deutlich, dafs Flächen von der verschiedensten Beschaffenheit die Schallwellen zurückwerfen, allein die genauere Beobachtung ergiebt zugleich, dafs die Art des Wiederhallens sehr verschieden ist. Zuweilen hört man nämlich insbesondere die einzelnen Laute des Echo's nur stumpf und rauh, oft aber sind sie dagegen scharf und angenehm klingend, gleich-

sam glockenähnlich tönend, eine Verschiedenheit, welche nicht füglich anders als aus der Beschaffenheit der reflectirenden Flächen erklärt werden kann. Inzwischen wird dieser Gegenstand schwerlich jemals vollständig aufgehellet werden, weil der Redende das Echo seiner eigenen Stimme nur dann hört, wenn er sich in einer weiteren Entfernung von der wiederhallenden Fläche befindet, und auch jeder Hörer des Echo's so weit davon entfernt seyn mufs, dafs der ursprüngliche und der zurückgeworfene Schall einzeln zum Ohre gelangen, indem der nicht eben selten vorkommende Fall, dafs man das Echo allein und den dasselbe erzeugenden Schall nicht hört, nicht füglich dann stattfinden kann, wenn man sich sehr nahe bei der reflectirenden Ebene befindet. Die Erfahrung zeigt indefs genügend, dafs zur Reflection der Schallwellen keine ganz ebene Flächen erforderlich sind, wie zur Erzeugung der Bilder durch Spiegel, eine durch La Grange[1], d'Alembert[2] und Euler[3] genügend erwiesene Wahrheit. Die verschiedensten Körper, als Mauern, Wälle, Festungswerke, Häuser, Berge, Bergschluchten, Felsen, verfallene Thürme, Höhlen, hohe Ufer, Wälder u. dergl. sind daher geeignet, den Schall zu reflectiren, auch leidet es keinen Zweifel, dafs der Schall von den Wolken reflectirt werde, und dafs hieraus, verbunden mit den wiederhallenden Gegenständen auf der Erdoberfläche, das Rollen und tiefere Tönen des *Donners* gröfstentheils erklärbar sey[4]. Unter die reflectirenden Flächen gehören, den Erfahrungen gemäfs, auch die Segel der Schiffe auf dem Meere und hochgethürmte Wellen. Letztere geben einen Wiederhall insbesondere der Schüsse nach Vögeln, erstere ein vernehmliches Echo der Worte, welche durch ein Sprachrohr gerufen werden, jedoch hauptsächlich nur dann, wenn der Schall gegen die convexe Fläche der Segel mehrerer, in nicht zu grofser Entfernung befindlicher Schiffe gerichtet ist[5].

---

1 Lagrange in Misc. Taur. 1. 93.

2 d'Alembert in Encyclopédie par d'Alembert et Diderot. Art. Echo.

3 Mém. de Berlin. 1765. Nov. Comm. Acad. Pet. XVI.

4 Vergl. *Donner*.

5 Journ. de Ph. 1773. II. 192.

Inzwischen hat die Untersuchung der individuellen Beschaffenheit solcher Flächen, welche ein Echo zu erzeugen geschickt sind, die Naturforscher vielfach beschäftigt. Sofern Brisson, Nollet und die meisten Physiker voraussetzten, dafs diese Wirkung auf ähnlichen Gesetzen beruhe, als die Spiegelung des Lichtes, hat man den Ausdruck *Katoptrik des Schalles* einführen gewollt, diesen aber als unpassend bald mit dem mehr geeigneten, nämlich *Kataphonik* oder *Katakustik* vertauscht, auch heifst der Ort, wo der Schall erzeugt wird, der *phonische*, derjenige aber, welcher die Schallstrahlen zurückwirft, der *phonokamptische*, wobei man das Ganze durch *Phonokamptik* bezeichnet und sowohl das phonische, als auch das phonokamptische Centrum unterscheidet, deren Bedeutung aus den griechischen Worten φωνὴ Ton, Stimme und κάμπτειν umbiegen, zurückbringen, leicht abzuleiten ist. L. Euler [1] und diesem folgend Chladni [2] führen die Erscheinungen des Echo auf die Schwingungen einer Luftsäule in einer Röhre von beliebiger Weite und ohne Rücksicht auf ihre Krümmungen zurück. Hiernach würde ein freier Raum einer unendlich langen, an beiden Enden offenen Röhre gleichen, in welcher kein Echo entstehen kann, weil die schwingende Luftsäule nirgend einen Widerstand findet. Irgend eine feste Grenze gäbe dagegen eine an einem Ende verschlossene, an der andern offene und in unendliche Ferne sich erstreckende Röhre. Im Allgemeinen würde dann der Schall im Verhältnifs der Entfernung des Ohrs vom tönenden Körper, dividirt durch die Entfernung, welche der Schall in einer Secunde durchläuft, ein Echo eszeugen, oder wenigstens würde hierdurch die Secundenzahl des Ausbleibens der ersten wiederkehrenden Schallwelle angegeben werden. Obgleich aber diese Theorie sehr gelehrt und sinnreich ausgedacht ist, Chladni auch eine Anwendung davon auf den Wiederhall macht, welcher sich in Hohlwegen, langen Stollen, Canälen und zwischen Felsschluchten u. dergl. zeigt, so ist doch diese Theorie keineswegs durch die Erfahrung genügend begründet, vielmehr scheint sie mit den Resultaten der von Biot [3] angestell-

1 Nov. Com. Petr. XVI.
2 Die Akustik. Leipz. 1802. 4. §. 212.
3 Mém. de la Soc. d'Arcueil. II. 422.

ten Versuche nicht übereinzustimmen. Wenn er nämlich in die 951 Meter lange, aus gufseisernen Röhren bestehende Wasserleitung an einem Ende hineinredete, so hörte er mehrere Echo's, welche sich in gleichen Zeiten wiederholten. Bei einem Versuche hörte er deren sechs, welche sämmtlich in Zeitintervallen von 0,5 Secunden einander folgten, und das letzte wurde nach Verlauf von etwas weniger als 3 Secunden gehört, welche Zeit gerade erforderlich war, damit der Schall von einem Ende zum andern gelangen konnte. Die Erscheinung war an beiden Enden gleich, wenn man hineinredete, ein Zuhörer am andern aber nahm nur einen Schall wahr. Chladni gesteht zu, dafs diese Erfahrung mit seiner Theorie nicht übereinstimmt, wonach die Intervalle zwischen den Echo's $= 2.\frac{951}{338} = 5'',6$ hätten seyn müssen, wenn man die Länge der Röhre $= 951$ und den Raum, welchen der Schall in einer Secunde durchläuft $= 338$ Meter annimmt, weswegen er die Ursache der kürzeren Zeitdauer in den Schwingungsknoten sucht, welche sich in dem gegen seine Länge verhältnifsmässig sehr engen Rohre erzeugten.

Auf eine ähnliche Weise als L. Euler führt auch Poisson [1] die Erscheinungen des Echo's auf die Zurückwerfung der Schallwellen von einem Widerstand leistenden Körper zurück, indem er annimmt, dafs die durch den Schall in wellenartige Schwingungen gesetzte Luft gegen die festen Hindernisse gestützt sey, und somit die Schallwellen beim Zurückgange die nämlichen Gesetze befolgen, als worauf sich die Reflection des Lichtes zurückführen läfst. Hiernach müfsten sich also die Erscheinungen des Echo's nach katoptrischen Grundsätzen eben so gut, als aus der Theorie der Schallwellen erklären lassen. Inzwischen darf hierbei nicht übersehen werden, dafs eine jede dieser Ansichten eine hierzu geeignete und auf eine bestimmte Weise gerichtete Fläche voraussetzt. Nun ergiebt zwar die Erfahrung, dafs manche diesem gemäfs beschaffene Ebenen, z. B. Mauern, die Seiten grofser Häuser, Kirchen u. dergl. ein dort erwartetes Echo geben, allein in weit zahlreicheren Fällen bleibt dasselbe gerade an solchen Orten oft aus, und wird wiederum durch andere Gegenstände

1 Journ. de l'École Polyt. VII. p. 319.

erzeugt, von denen man eine solche Wirkung nach theoretischen Gründen nicht erwarten sollte, wohin namentlich die, keine eigentliche Fläche darbietenden, Bäume der Wälder, gehören, deren individuelle Wirksamkeit bei der Erzeugung der Echo's überhaupt unter die schwierigsten Probleme gehört. Viele Erscheinungen führen daher auf die Vermuthung, daſs gekrümmte Flächen und höhlenartig gewölbte Räume zur Erzeugung eines Echo's am meisten geeignet sind, denn wirklich geben verfallene Thürme, gekrümmte Ufer, Bergschluchten u. dergl. oft wider Erwarten die schönsten Echo's, ohne daſs man jedoch eine feste Theorie, noch weniger eine geometrische Construction derselben auf solche Erfahrungen zu gründen im Stande ist.

Auf allen Fall darf man es hierbei als ausgemacht ansehen, daſs glatte Flächen die Schallwellen stärker und besser zurückwerfen, als rauhe und bestaubte oder mit Schmutz überzogene, indem die Wände neuer Häuser ungleich stärker wiederhallen, als alter oder bewohnter. Manche werden indeſs geneigt seyn, diese auffallende Wirkung vielmehr der gröſseren Elasticität solcher neuen Wände beizulegen, wodurch sie mehr geeignet sind, selbst in Schwingungen versetzt zu werden, auch scheinen die vielen Echo's durch verfallene Mauern erzeugt, hiergegen zu streiten, welche sich indeſs aus andern Gründen erklären lassen, wie weiter unten gezeigt wird.

Hassenfratz [1] meint, man habe bei den versuchten Erklärungen dieser Phänomene einen eben so wichtigen, als nahe bei der Sache liegenden Umstand zu berücksichtigen unterlassen, nämlich das Mittönen derjenigen Körper, welche die Echo's erzeugen. Daſs viele Körper, namentlich elastische und gespannte, als Glasscheiben, Gläser, Stahlstäbe, die Saiten der Instrumente u. a. durch einen Schall leicht in so starke Schwingungen versetzt werden, um zu zittern oder selbst einen minder hörbaren Schall hervorzubringen, wuſste man seit sehr langer Zeit [2], und daſs alle mit dem tönenden in Verbindung stehenden oder durch einen starken Schall getroffenen Körper, selbst die wenig elastischen, eine gleiche Wirkung

1 Encyclopédie méthod. T. III. p. 27.

2 Vergl. *Resonanz.*

zeigen, ist neuerdings durch Chladni und Savart erwiesen. Man darf daher kaum bezweifeln, dafs auch die den Schall zurückwerfenden Körper in Schwingungen versetzt werden; allein hiermit ist noch nicht ausgemacht, dafs die Entstehung des Echo hierdurch erklärlich werden sollte, indem auch dann die Frage ganz unentschieden bleibt, warum unter gewissen Bedingungen ein Echo erzeugt wird, und unter andern, anscheinend ganz gleichen, wider alle Vermuthung ausbleibt. Zur Begründung eines Einflusses der Bebungen derjenigen Körper, welche ein Echo bilden, auf die Entstehung und individuelle Beschaffenheit des letzteren läfst sich indefs allerdings die oben schon erwähnte Thatsache anführen, dafs manche stumpf, andere aber hell und glockenartig wiedertönen. Hassenfratz führt ferner an, dafs verschiedene Echo's in unterirdischen Gallerien blofs gewisse Töne wiederhallen, und nicht eher, als bis der ursprüngliche Schall ein bestimmter musikalischer Ton geworden sey. Wichtiger noch ist die von ihm erzählte Thatsache, dafs im alten Collegium von Harcourt die von einem in der Mitte des Hofes stehenden Menschen hervorgebrachten tiefen Töne durch das Echo in der Richtung der Strafse La Harpe, die hohen aber in einer 50 Grade nördlichern Richtung wiederhohlt wurden.

Dafs indefs verschiedene Echo's durch die Schwingungen von Bäumen, einzelnen Mauerresten, isolirten Felsen, Fensterrahmen mit oder ohne Glas u. dgl., wo nicht eigentlich erzeugt, aber doch verstärkt, modificirt und in einigen Fällen erst hörbar werden, scheint nach verschiedenen Beobachtungen kaum zweifelhaft zu seyn, auch ist es wahrscheinlich, dafs das Wiederhallen und die Ech'os mancher Wälder hierauf und auf der individuellen Gruppirung der Bäume beruhen, wenn gleich die Entstehung mancher Echo's durch hohle Flufsufer hiermit noch nicht erklärt ist. Als Beweis hierfür führt Hassenfratz [1] an, dafs Gay-Vernon in seiner Jugend ein Echo kannte, welches durch das Gebäude einer Mühle erzeugt wurde. Nach einem Aufenthalte von wenigen Jahren in Paris suchte er bei seiner Rückkunft das Echo wieder, fand es aber verschwunden, ohngeachtet bei näherer Untersuchung alle Gebäude der Mühle durchaus unverändert waren; vor densel-

1 a. a. O. p. 28.

ben aber einige Bäume fehlten, welche früher dort standen, und also nothwendig die Entstehung des Echo's bedingt haben mufsten. Durch die Erzählung dieses Ereignisses veranlafst untersuchte Hassenfratz ein in der Ebene des Mont-Rouge bei Paris befindliches Echo, welches durch eine Mauer mit einigen Reihen Bäume vor derselben in der Art erzeugt zu werden schien, dafs das phonokamptische Centrum in der Mauer zu liegen schien. Hassenfratz liefs in einer geeigneten Entfernung Töne hervorbringen, und näherte sich der Mauer dann mehr und mehr, wobei das eigentliche Echo allmälig verschwand, aber eine gewisse Resonanz wahrgenommen wurde, welche im Umkreise der Bäume am stärksten war, hinter denselben aber, nach der Mauer hin, wieder abnahm, bis zum gänzlichen Verschwinden. Als er darauf sein Ohr an die Mauer und dann auch an die Bäume anlegte, empfand er die Schwingungen nicht jener, sondern dieser. Auf ähnliche Weise fand er Echo's entstehen durch Mauern und Wände mit Fenstern, wenn diese verschlossen waren, aber auch wenn die Fenster geöffnet, die Zimmer aber verschlossen waren.

Darf man diese Erfahrungen als gegründet voraussetzen, so folgt daraus in Uebereinstimmung mit andern akustischen Gesetzen, dafs zur Erzeugung eines Echo nicht blofs eine die Schallstrahlen reflectirende Fläche erforderlich ist, sondern dafs die Klarheit und Stärke desselben zugleich durch die Schwingungen der reflectirenden Flächen selbst oder anderer, in der Nähe derselben befindlicher, hierzu geeigneter Körper bedingt wird, von denen dann vermuthlich der hellere oder stumpfere Ton der Echo's abhängen mag. Einen zu hohen Werth darf man indefs auf diese Resonanzmittel nicht legen, indem die Sprachgewölbe und Flüstergallerieen genügend beweisen, dafs die Reflection der Schallwellen allerdings nach den bekannten katakustischen Gesetzen geschieht, und hierbei auf gleiche Weise als bei den Lichtstrahlen die Gesetze der Reflection nach der Beschaffenheit des Einfalls- und Ausfalls-Winkels anwendbar sind, obgleich man auch in diesen Fällen die Bebungen der reflectirenden Flächen als mitwirkend ansehen kann. Ob endlich zur Entstehung eines Echo's die Concentrirung mehrerer reflectirter Schallstrahlen, also zur Vereinigung derselben eine gewölbte Fläche erforderlich sey,

ist hierdurch nicht ausgemacht, und folgt keineswegs nothwendig aus der Frfahrung.

2. Menge und Entfernung der reflectirenden Flächen.

Wenn ein Echo gehört wird, so ist der Ort von wo die Schallstrahlen ausgehn, mit demjenigen, wohin sie reflectirt werden, oder nach der Kunstsprache das *phonische* und *phonokamptische Centrum* entweder zusammenfallend oder verschieden. Im ersteren Falle hört der Redende seine eigene Stimme, oder einen durch ihn selbst hervorgebrachten Ton, welches die gemeinste Art der Beobachtung ist, im letzteren dagegen, befindnet sich der Hörende an einem anderen Orte, als an welchem der Schall erzeugt wird. Die letztere Art der Echo's begreift wieder zwei Verschiedenheiten, indem entweder der Schall selbst und das Echo desselben, oder nur das letztere allein gehört wird. Bloſs in diesem Falle würde es möglich seyn, dem phonokamptischen Mittelpuncte sehr nahe zu kommen, wenn man sich hierdurch nicht zugleich dem Wege, auf welchem der Schall zu der das Echo erzeugenden Fläche gelangt, zu sehr näherte, wodurch der Schall und sein Echo zusammenfallen, und somit nicht einzeln vom Ohre wahrgenommen werden können. Auf allen Fall ist es daher nothwendig, daſs zwischen der Wahrnehmung des erzeugenden Schalles und des dadurch hervorgebrachten Echo's so viele Zeit verstreicht, daſs beide einzeln durch das Ohr empfunden werden können. Es kommt also darauf an genau zu bestimmen, wie viele einzelne Laute in einer gegebenen Zeit das Ohr hören und unterscheiden kann. Hierbei dürfte allerdings die individuelle Schärfe des einzelnen Ohres zu berücksichtigen seyn, im Allgemeinen aber wird mindestens nahe genau angenommen, daſs das Ohr im Mittel etwa 8, das geübteste nicht mehr als 9 einzelne Laute in einer Secunde unterscheiden könne. Ist also die Zeit zwischen der Wahrnehmung des Schalles und seines Echo's kürzer als $\frac{1}{9}$ Secunde, so werden beide zusammenfallen, und einander verstärken, aber ein Echo wird nicht gehört werden. Dieser Fall tritt ein, wenn man sich der Echo gebenden Fläche zu sehr nähert, wodurch dasselbe also verschwindet, noch mehr aber in Kirchen, neuen und noch unbewohnten Häusern, in denen bekanntlich ein jeder Schall nicht eigentlich vervielfältigt, wohl aber oft unglaublich verstärkt und nachhallend

gemacht wird. Nennt man allgemein den Raum, welchen der ursprüngliche Schall bis zum Ohre des Hörenden zu durchlaufen hat $= w$; den des reflectirten Schalles $= W$; den Raum, welchen der Schall in einer Secunde durchläuft $= k$, so ist das zwischen beiden liegende Zeitintervall $z = \frac{W - w}{k}$. Ist hierbei z kleiner als $\frac{1}{9}$ oder als 0,112, so wird gar kein Echo gehört werden. Die genauesten Versuche haben ergeben, daſs der Schall durch die atmosphärische Luft innerhalb einer Secunde bei 0° Temperatur einen Raum von 1020 Par. F. durchläuft, und für jeden Grad der Centesimalscale erhöhete Temperatur fast 2 Fuſs mehr. Nimmt man also 15° C. als mittlere Temperatur an; so wird $k = 1050$ und $z = \frac{W - w}{1050}$. Hört der Redende seine eigenen Laute durch das Echo wiederhallen, so ist $w = 0$, und die kürzeste Entfernung, bei welcher dieses unter den angegebenen Bedingungen möglich seyn soll, giebt $\frac{1}{9} = \frac{W}{1050}$. woraus $W = 116{,}67$ par. F. gefunden wird, und weil in diesem Falle der Schall eine gleiche Zeit gebraucht, um zu der reflectirenden Ebene zu gelangen, als wieder von derselben zurück; so ist $\frac{116{,}67}{2}$ oder 58,34 Par. F. die kürzeste Entfernung, in welcher ein Redender von der brechenden Fläche entfernt seyn muſs, wenn er seinen eigenen Laut reflectirt hören will. Erhält w irgend einen Werth, oder ist der Hörende von dem schallenden Körper entfernt, so muſs W um eine gleiche Gröſse wachsen, und wenn der Hörende daher den ursprünglichen Schall und auch das Echo hören kann, so ist auch in diesem Falle 58,34 Par. F. die kürzeste Entfernung, auf welche sich der Hörende oder der den Schall Erzeugende dem reflectirenden Gegenstande nähern darf, wenn der Schall und sein Echo unterschieden werden soll. Hierbei kann w den gröſsten Werth erhalten, wenn der Hörende und der den Schall erzeugende in einer geraden Linie liegen, woraus folgt, daſs man auf keine Weise der wiederhallenden Fläche näher kommen kann, als etwa 58 P. F., wenn man den ursprünglichen Ton gleichfalls hören will, eine in den meisten Fällen, mindestens bei groſser Annäherung an die reflectirende Fläche, nothwendige Bedingung, weswe-

gen eine genaue Betrachtung des eigentlichen phonokamptischen Mittelpunctes und die bestimmte Kenntnifs solcher katakustischen Flächen fast eine Unmöglichkeit ist. Uebrigens giebt es in gewölbten Räumen allerdings Echo's, bei denen die Entfernung bis zur nächsten reflectirenden Fläche keine 58 P. F. beträgt, allein in diesen Fällen kommt der Schall nicht von der reflectirenden Fläche unmittelbar zurück, sondern wird von der ersten gegen eine zweite oder auch gegen mehrere geworfen, bis er zum Ohre zurückkommt.

Ist das phonokamptische Centrum nicht weiter entfernt, als erfordert wird, um die ausgesprochene Sylbe und die durch das Echo wiederholte einzeln zu verstehen, so hat man ein sogenanntes *einsylbiges Echo* (*echo monosyllaba*), können aber zwei oder mehrere Sylben auf diese Weise deutlich gehört werden, so hat man ein *vielsylbiges Echo* (*echo polysyllaba*). Diese Art der Bezeichnung ist zwar allgemein angenommen, und wird auch durch die individuelle Art der Prüfung der Echo's sehr natürlich herbeigeführt, allein sie ist durchaus unwissenschaftlich, und hindert die genauere Untersuchung der wiederhallenden Flächen. Man hat nämlich kein bestimmtes Mafs der Zeit, welche zum Aussprechen einer gewissen Menge von Sylben erfordert wird, deren Länge und Schwierigkeit des Aussprechens obendrein nicht gleich ist. Weifs man daher auch, wie viel Sylben ein Echo wiederholt, kennt man zugleich die Sylben, welche dasselbe deutlich wiedergegeben hat, so ist damit die Entfernung noch keineswegs gegeben, und noch nicht bestimmt, wo der phonokamptische Mittelpunct eigentlich zu suchen sey. Inzwischen sind die meisten Beobachtungen der Echo's auf dieses Mafs zurückgeführt, aber die Angaben selbst beweisen die Zweckwidrigkeit desselben. Blancanus [1] fordert 120 F. Entfernung für jede deutlich gehörte Sylbe; Mersenne [2] dagegen nur 69 Par. F.; John Morton [3] für ein einsylbiges 90 engl. F.; für ein zweisylbiges 105 F.; für ein dreisylbiges 160 F.; für ein viersylbiges 182 F.; für ein fünfsylbiges 204 F.; das Echo zu Oxen-

1 Echometria theoretica in seiner Sphaera mundi p. 5 Vergl. John Morton Natural History of Northamptonshire p. 358.

2 Brisson Dict. de Phys. art. Echo.

3 Natural Hist. of Northamptonshire. cap. V. p. 358.

don aber wiederholte bei einer Entfernung von 673 F. 13 Sylben. Dr. Plot [1] hörte bei dem berühmten Echo zu Woodstock bei Oxford in einer Entfernung von 2280 F. bei Tage 17, bei Nacht 20 Sylben, welches 114 F. auf eine Sylbe betragen würde. Ebell [2] beobachtete, dafs ein vorzügliches Echo zu Derenburg die 27 Sylben *Conturbabantur Constantinopolitani innumerabilibus sollicitudinibus* deutlich nachsprach, und doch fand er die Entfernung nur 254 Schritte, welche er zu 550 F. annimmt. Rechnet man einen Schritt auch, wie früher bei manchem Militär, zu 2½ F., so kommen dennoch nur 677 F. heraus, auf jede Sylbe aber nur 25 F., der Schall würde bei nur 5° C. Temperatur 1,3147 Secunden zum Durchlaufen dieses Raumes gebraucht haben, und es käme somit auf jede Sylbe nicht völlig 0,05 also nicht ein halbes Zehntel einer Secunde, welches voraussetzen würde, dafs jemand 20 Sylben in einer Secunde aussprechen könnte. Fragt man aber, wie viele Sylben durch ein vollkommenes Sprachorgan in einer Secunde gesprochen werden können, so ist die Beantwortung dieser Frage abermals höchst schwierig, weil die Länge derselben, die Art und der Wechsel der Consonanten in ihnen und die individuelle Uebung, welche man in Aussprechen derselben sich erworben hat, jede genaue Bestimmung unmöglich machen. Lichtenberg [3] giebt an, das Aussprechen der ersten zehn Zahlen oft mit Hülfe einer genauen Pendeluhr versucht, und gefunden zu haben, dafs er hierzu im Mittel einer Secunde Zeit bedurfte. Diese 10 Sylben haben eine sehr leichte Folge, und ein jeder hat sich an das Aussprechen derselben sehr gewöhnt, allein es möchte dennoch schwer halten, sie alle in dem angegebenen Zeitraume rein hervorzubringen. Hutton [4] dagegen meint, es würden gewöhnlich nur 3 bis 4 Sylben in einer Secunde gesprochen, und rechnet dann für 4 Sylben eine Entfernung des reflectirenden Körpers von 500 engl. Fufs, und in dem nämlichen Verhältnifs für mehrere Sylben. Dieses gäbe als gewifs nahe richtiges Mafs für eine Sylbe eine Entfernung von 125 engl. F. und für Sylben eine Entfernung $= n \times 125$ F.

---

1 Natural Hist. of Oxfordshire. cap. 1. p. 7.
2 Lichtenberg vermischte Schriften VIII. 196.
3 Vermischte Schriften VIII. 221.
4 Dict. I. 449.

Will man indeſs die Entfernung der reflectirenden Fläche genau wissen, welches insbesondere dann von Wichtigkeit ist, wenn man den bestimmten reflectirenden Gegenstand zur näheren Untersuchung seiner Wirkungsart kennen lernen will; so muſs man nur *einen* Laut kurz aussprechen und das Zeitintervall zwischen diesem und dem ersten Schalle des Echo's wo möglich mit einer Tertienuhr, oder in Ermangelung dieser mit einer Secundenuhr durch Wiederholung des Versuches genau messen. Hat man auf diese Weise die Zeit in Secunden möglichst scharf bestimmt, die Temperatur der Luft nach Schätzung nahe richtig angenommen, so findet man die Entfernung des reflectirenden Gegenstandes $= \frac{z \times (1019{,}12 + t \cdot 1{,}926)}{2}$ mit hinlänglicher Schärfe, wenn z die Zeit in Secunden, t aber die Grade der Temperatur nach der hunderttheiligen Scale bezeichnen.

In den wenigsten Fällen ist der Beobachter indeſs mit den hierzu erforderlichen Werkzeugen, namentlich einer richtigen Secundenuhr versehen, und doch wird es die Neugierde des wissenschaftlich Gebildeten reitzen, und den Wunsch, sich nützlich zu machen, in ihm erregen, wenn ihm zufällig die Gelegenheit geboten wird, ein vorzügliches Echo näher zu untersuchen. Um in diesem Falle eine genauere Zeitmessung zu suppliren, schlägt Lichtenberg[1] vor, sich überhaupt die Fertigkeit zu verschaffen, eine gewisse Menge Wörter gleichmäſsig auszusprechen, um hiernach in vorkommenden Fällen die Zeit zu messen, und er bringt hierzu die Zahlen von eins bis zehn in Vorschlag, welche man alle oder deren so viele wählen könnte, als man sich gerade gewöhnt hat, in einer Secunde bequem auszusprechen. Daſs man durch dieses bekannte Mittel allerdings ein ziemlich genaues Zeitmaſs erhalten kann, ist gewiſs, allein es läſst sich nicht gut auf Theile einer Secunde ausdehnen, wenn gleich ganze Secunden scharf genug dadurch gemessen werden können. Noch besser dürfte es daher seyn, sich einer gewöhnlichen Taschenuhr zu bedienen, bei derselben vorher oder nachher die Menge der Schläge der Unruhe zu bestimmen, welche auf eine Minute gehen, dann durch Division den Werth eines einzigen Schlages zu finden, welcher meistens 0,25 Secunden beträgt und hierdurch also ein weit genaueres, obgleich bei dem unregelmäſsigen Gange schlechterer

1 a. a. O.

Uhren nicht ganz zuverlässiges Maſs kleiner Zeittheilchen zu erhalten. Die Bestimmung der Temperatur bleibt immer etwas unsicher, allein man wird dennoch die Entfernung eines Echo's nach der angegebenen Formel nahe richtig berechnen, und mit einer auch nur unvollkommenen Messung vergleichen können. DERHAM hielt diese Art der Messung durch das Zeitintervall zwischen Ton und Wiederhall für so genau, daſs er umgekehrt die Breite der Themse bei Woolwich durch das Ausbleiben des Echo's auf dem jenseitigen Ufer maſs [1].

Rücksichtlich der Entfernung der reflectirenden Fläche ist endlich noch Folgendes zu berücksichtigen. Manche vielsylbige Echo's werden durch Gegenstände erzeugt, welche sich in sehr groſser Entfernung befinden, wie schon aus der Menge der wiederholten Sylben von selbst folgt. Unter den angegebenen Echo's war das zu Oxendon 673 F., das bei Woodstock 2280 F., das bei Derenburg 677 F. entfernt. DERHAM untersuchte ein Echo, Woolwich gegenüber, und fand, daſs der über die Themse gehende und wiederkehrende Schall einer kurz ausgesprochenen Sylbe drei Secunden ausblieb [2], welches für eine mittlere Temperatur von 15° C. eine Entfernung von 1575 F. voraussetzt. Bei den meisten der genannten mögen die Versuche wohl mit einem Sprachrohre angestellt seyn, und so läſst sich also nicht entscheiden, ob die Entfernung, welche der Schall zu durchlaufen hatte, gröſser war, als wohin die Stimme eines Menschen reicht. Am auffallendsten aber und am unerklärlichsten ist das Phänomen, welches das Echo bei Derenburg darbot. Es ist nämlich schon oben bemerkt, daſs die Entfernung der reflectirenden Mauer mit der Zahl der wiederholten Sylben in gar keinem Verhältnisse steht, denn wenn auch angenommen würde, daſs EBELL zehn der angegebenen Sylben in einer Secunde ausgesprochen habe, so setzt dieses doch eine Entfernung von mindestens 1050 F. voraus, welche mit der Messung im Widerspruche steht. Sollten beide in Uebereinstimmung gebracht werden, so müſste man annehmen, der Schall sey zuvor von den einzelnen Theilen der Mauer so lange hin und her geworfen, bis er zum Ohre zurückkommend die Länge des angegebenen Weges zurückgelegt

1 HUTTON Dict. I. 449.

2 Ebendaselbst.

habe. Bei den vielfachen Echo's kommt die nämliche Frage in Betrachtung, Angenommen nämlich, die Entfernung der ersten reflectirenden Fläche sey die kleinstmögliche, so gäbe dieses 58 F., und wenn dann diese zehnmal in einer Secunde wiederholt würde, so müſste der Schall der letzten Wiederholung noch auſserdem einen Raum von 1050 F., im Ganzen also 1108 F. durchlaufen haben. Wird aber der Schall durch die Reflection nicht verstärkt, so kann die erste Sylbe nur so gehört werden, als käme sie von einem 116 F. entfernten Menschen, folglich betrüge der ganze durchlaufene Raum in dem angegebenen Falle 1166 F. Wie weit die Menschenstimme im Freien reiche, ist zwar nicht genau ausgemacht, indeſs kann mit Lambert[1] im genäherten Werthe etwa 800 F. angenommen werden; dann folgt aber, daſs die meisten vielsylbigen und vielfachen Echo's gar nich gehört werden könnten. Das Echo bei Derenburg machte aber nicht bloſs stark gerufene Laute wiederhallen, sondern selbst das Stampfen und Schnaufen der Pferde wurde von demselben wiederholt, und überhaupt darf man im Allgemeinen annehmen, daſs gute und vorzüglich helle Echo's die Laute stärker wiederhallen, als sie auf die doppelte Entfernung gehört werden würden, ja sogar zuweilen die Worte vernehmlicher wiedergeben, oder mindestens wiederzugeben scheinen, als sie ursprünglich gesprochen sind. Ein auffallendes und interessantes Beispiel hiervon giebt das ausnehmend schöne Echo, welches in der Mitte der neu erbauten katholischen Kirche in Darmstadt gehört wird, und ganz entschieden durch die Reflection der Schallwellen von der gewölbten Kuppel entsteht. Diese Kuppel ist 150 F. hoch, und der Schall muſs also hin und her gehend 300 F. durchlaufen, eine Strecke, auf welche man einen im Freien Redenden nicht zu hören vermöchte. Dennoch ist der Wiederhall des Echo's so laut, klar und vernehmlich, daſs die ursprünglichen und die reflectirten Worte von einem wenige Fuſs von dem Redenden entfernt Stehenden mit gleicher Stärke gehört werden.

Was für eine Ursache diese Verstärkung des Schalles hervorbringe, ist deswegen schwer zu bestimmen, weil wir die eigenthümliche Art der Reflection des Schalles durch die verschiedenen Körper nicht kennen; auch ist mir nicht bekannt,

---

1 Lichtenberg a. a. O. p. 213.

dafs aufser LICHTENBERG die Physiker eine Erklärung dieser Sache versucht haben. Dieser findet die Ursache der Verstärkung theils in den kleinen ausgehöhlten Räumen verwitterter Mauern mit ihren vielen, im zerfallenen Mörtel hervorragenden Steinchen, wodurch eine sehr grofse Menge solcher Ebenen gebildet werden, welche die auffallenden Schallstrahlen zum Ohre des Hörenden reflectiren. Auf gleiche Weise sollen auch die vielen Ebenen, welche namentlich Tannenbäume mit ihrer rauhen Rinde bilden, zur Erzeugung eines stark schallenden Echo's vorzüglich geeignet seyn. Ferner meint LICHTENBERG, dafs schräg auffallende Strahlen, welche also nicht reflectirt werden können, doch eine Bebung der Mauer erzeugen, und hierdurch die Reflection verstärken[1].

Hierin liegt allerdings viel Wahres, und namentlich hat der erste Grund manches für sich, sofern das Echo durch eine gerade Mauer hervorgebracht wird, von welcher nicht viele Schallstrahlen reflectirt werden könnten, wenn sie als völlig eben und gleichsam spiegelnd gedacht würde; in welchem Falle also die nach allen Richtungen liegenden Ebenen der verwitterten Theile und hervorstehenden Steinchen eine grofse Menge solcher Flächen darbieten müfsten, von denen der einfallende Schallstrahl zum Ohre des Hörenden reflectirt würde. Im Allgemeinen aber scheinen mir folgende Ursachen zur unleugbaren Verstärkung des Schalles durch katakustische Gegenstände beizutragen:

1. Sobald die Luft nicht völlig frei, sondern gegen einen festen Körper gestützt ist, sich also nach L. EULER's, CHLADNI's und POISSON's oben mitgetheilter Ansicht in einer an einem Ende verschlossenen, am andern unendlich langen offenen Röhre befindet, mufs die rückwärts gehende Fortpflanzung des Schalles deswegen vermehrt werden, weil die Wellen desselben einen Widerstand finden. Befinden sich noch aufserdem an den Seiten Bäume oder sonstige feste Gegenstände, so gleicht die Luft um so mehr einer in eine Röhre eingeschlossenen, und die Schallwellen werden daher weiter fortgepflanzt werden, da nach den Versuchen von BIOT[2] die Entfernung, bis auf welche der Schall durch enge Röhren fortgeleitet wird, unbegrenzt ist.

1 a. a. O. p. 214.

2 Vergl. *Schall; Fortpflanzung desselben.*

2. Die reflectirenden Flächen sind meistens gekrümmt, sammeln daher mehrere Schallstrahlen, und wenn gleich ein einzelner derselben auf die gegebene Weite verschwinden würde, so macht doch die vereinte Menge den Schall hörbar und lauter. Sie gleichen in gewissem Sinne den Sprachgewölben, wie namentlich bei dem erwähnten Echo in Darmstadt der Fall ist.

3. Eine Hauptsache aber ist die Mitwirkung der Bebungen, worein die reflectirenden Körper gesetzt werden, und wodurch sie eine Art Resonananz hervorbringen. Dafs solche Schwingungen wirklich statt finden, darf in Folge der oben erwähnten Beobachtungen von Hassenfratz und der zahlreichen Versuche von Chladni und Savart nicht bezweifelt werden. Von welchem Einflusse auf die Stärke des Schalles aber die Bebungen derjenigen Theile sind, welche bei der Erzeugung eines Tones zugleich mit in Schwingungen versetzt werden, beweisen insbesondere die Resonanzböden, ohne deren Mitwirkung viele Instrumente dumpf tönend und kaum hörbar seyn würden. Einen Beweis hiefür geben ferner die neuen, und daher noch mehr elastischen Wände unbewohnter Häuser durch den unglaublichen Wiederhall, welchen sie erzeugen, und wenn Lichtenberg die Ursache des Erfahrungssatzes, dafs alte Mauern am leichtesten ein Echo geben, in der Rauheit ihrer Oberfläche und der dadurch vermehrten Zahl der reflectirenden Flächen findet, so mag dieses allerdings gegründet seyn, allein es ist gewifs zugleich mehr als wahrscheinlich, dafs auch ihre vermehrte Elasticität hierbei wirksam ist, wodurch sie leichter und stärker schwingen, folglich auch eine gröfsere Resonanz erzeugen, indem bei alten Mauern der Mörtel ganz erhärtet ist, und mit den Steinen eine gemeinschaftliche steinartige Masse bildet.

Giebt es mehrere Körper, welche den Schall auf einen einzelnen Punct reflectiren, und liegen diese in ungleichen Entfernungen, oder werden einige Schallstrahlen nach einer einzigen Reflection, andere nach mehreren zum Ohre zurückgeworfen, so entsteht ein zwei- oder vielfaches Echo. Eigentlich kann man dabei so viele Echo's annehmen, als Wiederholungen statt finden, denn eine jede von diesen setzt einen besonderen reflectirenden Gegenstand voraus, oder hat ein eigenthümliches phonokamptisches Centrum, und es ist daher auf eine jede derselben alles dasjenige anwendbar, was oben

vom einfachen Echo gesagt ist. Die vielfachen sind daher gleichfalls einsylbig und mehrsylbig, jedoch können sie wegen der sonst erforderlichen langen Zeit des Ausbleibens der letzten Wiederholungen nicht füglich so vielsylbig seyn, als die einfachen. Weil ferner der Schall so viel schwächer werden muſs, je gröſser der Weg ist, welchen derselbe durchläuft, so folgt hieraus nothwendig, daſs die letzten Wiederholungen des vielfachen Echo's weniger vernehmlich sind, weswegen auch zahlreichere Wiederholungen bei einem starken Schalle gehört werden, als bei einem schwachen, auch mehrere derselben in der Stille der Nacht als bei Tage. Im Allgemeinen sind die Wiederholungen ungleich an der Zahl, indem man deren von zwei bis dreiſsig und sechzig, ja noch wohl mehr gefunden haben will, wovon einige jedoch nur dadurch erklärlich sind, daſs die Schallstrahlen von zwei parallelen phonokamptischen Flächen dem zwischen ihnen befindlichen Ohre auf gleiche Weise vervielfältigt zugeworfen werden, als eine unendliche Menge Bilder des nämlichen Gegenstandes von zwei parallelen Spiegeln zu dem zwischen ihnen befindlichen Auge gelangen müssen[1].

3. Merkwürdige Echo's.

Es ist oben schon angegeben, daſs man unter Echo auch denjenigen Ort versteht, wo sich ein den Schall reflectirender Gegenstand befindet, oder wo man ein Echo hört. Solche Oerter oder sogenannte Echo's sind in Menge vorhanden, und ihre Zahl würde übermäſsig groſs werden, wenn man auch nur die vorzüglichern aufzuzeichnen sich die Mühe geben wollte. So giebt es namentlich hier in Heidelberg ein merkwürdiges Echo, welches sehr geeignet ist, das Rollen des Donners und die abwechselnde Verstärkung und Schwächung seines Schalles anschaulich zu machen. Ein Pistolenschuſs nämlich, von einer etwas tieferen Stelle des Heiligenberges ausgehend, wird aus einer gegenüberliegenden Bergschlucht reflectirt, so daſs man etwas weiter aufwärts, zur Seite und hinter dem schallenden Gegenstande, den Knall des Geschützes nicht selbst hört, wohl aber den Wiederhall desselben, und zwar ganz eigentlich donnerähnlich mit einigen wiederkehrenden Verstärkungen bis zum

---

1 Vergl. *Spiegelcabinet.*

allmäligen Verschwinden. Solche Echo's giebt es gewiſs noch viele; indeſs wird es genügen, bloſs diejenigen namhaft zu machen, welche schon von alten Zeiten her eine gewisse Celebrität erhalten haben. Auſser den schon erwähnten erzählt Gassendi[1] von einem Echo beim Grabmale der Metella, Gemahlin des Crassus, welches den ersten Vers der Aeneide achtmal wiederholte. Zu Rosneath bei Glasgow wiederholt ein Echo die Töne eines Instrnmentes dreimal deutlich; auch soll bei Cyzicus ein siebenfaches und bei Brüssel ein funfzehnfaches Echo seyn[2]. Aus Caspar Barth[3] ist das schöne Echo am Rhein an den Ufern der Naha zwischen Coblenz und Bingen bekannt, welches ein Wort 17 mal wiederholt. Man hört dabei denjenigen, welcher redet oder ein Instrument bläst, wenig oder gar nicht, das Echo aber sehr deutlich und mit vielfachen Verschiedenheiten, indem die Stimme desselben bald näher, bald ferner herzukommen scheint, zuweilen sehr laut, dann wieder leiser tönt, auch glauben verschiedene Personen das Echo, die eine links, die andere rechts zu hören u. s. w. Diesem ähnlich ist das Echo zu Genetay, welches der Benedictiner Quesnet[4] beschrieben hat. Derjenige, welcher singt, hört dabei nur seine eigene Stimme, die Zuhörer aber an den geeigneten Stellen nur den Wiederhall, und gleichfalls so, daſs das Echo sich bald zu nähern, bald zu entfernen scheint; der eine hört nur ein einfaches, ein anderer ein mehrfaches Echo, dieser zur Rechten, jener zur Linken. Quesnet erklärt dieses sehr gut aus der länglichten Gestalt des Hofes und der ihn einschlieſsenden Gebäude. Ein gleichfalls ausgezeichnetes Echo bei Verdun ist durch Teintürier[5] beschrieben. Dieses wird durch zwei vom Hauptgebäude getrennte Thürme gebildet, 26 Toisen von einander abstehend, der eine mit einem niedrigen gewölbten Zimmer, der andere mit einem gewölbten Eingange. Stellt man sich in die Mitte zwischen beide, so hört man ein laut geredetes Wort 12 bis 13 mal in gleichen Zwischenräumen stets schwächer wiederholt. Tritt man auf einige Entfernung aus der Verbindungslinie beider Thürme, so hört

---

1 In Anmerk. zu Diogenes Laertius. Lib. X.
2 Hutton Dict. I. 449.
3 Statii Thebais. XI. v. 30. Anm.
4 Mém. de l'Ac. 1692. II. 87. X. 127.
5 Ebend. 1710. p. 18.

das Echo ganz auf, kommt man aber auf eine Linie zwischen dem Hauptgebäude und einem der Thürme, so hört man ein einfaches Echo. Hier müssen also die beiden Thürme sich die Schallstrahlen wechselsweise zuwerfen.

Eins der berühmtesten und schönsten Echo's ist das beim Schlosse Simonetta unweit Mailand, wovon schon Kircher und Schott reden[1]. Es wird durch die beiden vorspringenden Flügel des Schlosses gebildet, und wiederholt einen Pistolenschuſs aus einem der Fenster des Hauptgebäudes 56mal, eine Angabe, welche Addison[2], Misson[3] und Mongé[4] bestätigt fanden. Bernoulli[5] aber will sogar eine 60fache Wiederholung gehört haben. Bei Andersbach in Böhmen ist ein merkwürdiges Echo. Einzelne Felsen, in einem Umkreise von fast 3,5 deutschen Meilen zerstreut, bilden das Gerippe eines Berges, und ragen gröſstentheils bloſs mit ihren nackten Spitzen empor. Da wo sich diese Felsengruppe schlieſst, ist das Echo, welches 7 Sylben dreimal wiederholt, ohne sie im mindesten zu verwirren. Das phonische Centrum ist in einer kleinen Entfernung von der höchsten Felsenspitze; dort stehend hört man auch leise gesprochene Worte sehr deutlich, entfernt man sich aber nur einige Schritte nach der einen oder der andern Seite, so giebt selbst ein Pistolenschuſs kein Echo[6]. Dieses bildet also gleichsam den Uebergang zu den Sprachgewölben.

Einige der genannten Echo's, insbesondere die durch Gebäude erzeugten, existiren nicht mehr, oder sind wenigstens durch die allmälige Veränderung der reflectirenden Gegenstände gleichfalls bedeutend verändert. Sie haben indeſs einmal eine geschichtliche Celebrität erhalten, und können zur Vergleichung mit andern neu aufgefundenen dienen.

Ein *tonisches Echo* nennt man das Wiederhallen gleicher oder harmonirender (consonirender) Töne durch solche Körper, welche durch die sie treffenden Schallwellen leicht selbst in Schwingungen versetzt werden, z. B. musikalische Saiteninstrumente, Glocken u. dgl. m. Sie hallen hauptsächlich

1 Southwell in Phil. Trans. XLIV. N. 480. p. 220.
2 Travels. p. 32.
3 Voyage d'Italie. II. 196.
4 Encyclop. Méthod. III. 25.
5 Zusätze zu Volkmann's Reisen p. 100.
6 Bibliothèque Brit. IX. 292.

diejenigen Töne wieder, welche mit ihrer eigenen Stimmung übereinkommen, oder wenn die letzte allgemein ist, wie beim Forte-Piano, so hört man durch einen reinen und etwas starken Ton meistens den harmonischen Dreiklang desselben erzeugt[1].

In der ausübenden Musik heiſst Echo die Nachahmung des gemeinen Echo's durch leise Wiederholung der Töne, welche man in abnehmender Stärke öfters wiederholt und allmählig verschwinden läſst. In der Baukunst nennt man Echo eine solche Einrichtung der Gebäude, vermöge welcher sie den Schall verstärkt wiedergeben[2]. *M.*

Echometer. S. *Metronom.*

Edelstein.

Gemma; pierre precieuse; *precious stone.* Hierunter versteht man jedes seltenere Mineral, welches sich durch Härte, Glanz, Durchsichtigkeit, Farblosigkeit oder angenehme Färbung oder Farbenspiel, oder wenigstens durch einige dieser Eigenschaften auszeichnet, und sich hierdurch zur Anwendung als Schmuck eignet. Man rechnet hierher den Türkis, den Opal, den Quarz (als Bergkrystall, Amethyst, Citrin, Rauchtopas, Morio, Rosenquarz, Prasem, Katzenauge, Aventurin, weiſsen Chalcedon, Carneol, Heliotrop, Plasma, Chrysopras, Onyx und Sardonyx), den Zirkon (mit Inbegriff des Hyacinths), Smaragd (mit Inbegriff des Berylls) Topas (mit Inbegriff des Aquamarins) Cyanit, Chrysoberyll, Feldspath (als Adular, Labradorstein und Amazonenstein) Turmalin, Jolith, Lasurstein, Kaneelstein, Granat, Chrysolith, Sapphir (als blauer, grüner, gelber, rother und als Sternsapphir) Spinell und Diamant. *G.*

Einfallsloth.

Cathetus incidentiae; la perpendiculaire à la surface réfringente ou réfléchissante; *the Perpendicular*; ist die Senkrechte, welche auf einer brechenden oder zurückwerfenden Ebene da errichtet wird, wo der auffallende Lichtstrahl diese Ebene trifft. Ist die Fläche, auf welche der Licht-

1 Vergl. *Resonanz.*

2 Vergl. *Sprachzimmer.*

strahl auffällt, gekrümmt, so ist das Einfallsloth senkrecht auf die berührende Ebene des Punctes, wo der Strahl auffällt.

B.

Einfallspunct.

Punctum incidentiae; point d'incidence; *point of incidence.* Der Punct, wo der Lichtstrahl die brechende oder zurückwerfende Ebene trifft. *B.*

Einfallssinus.

Sinus anguli incidentiae; Sinus de l'angle d'incidence; *the sine of incidence.* Der Sinus des Einfallswinkels, von dessen Größe bei der Brechung der Lichtstrahlen die Größe der Brechung abhängt. *B.*

Einfallswinkel.

Angulus incidentiae; angle d'incidence; *angle of incidence;* ist bei Lichtstrahlen, die auf eine Ebene fallen, der Winkel, *den der Strahl mit dem Einfallslothe macht.* Dieser Winkel heißt auch zuweilen der Neigungswinkel.

Bei einigen Schriftstellern bedeutet dagegen das Wort Einfallswinkel denjenigen Winkel, den der Strahl mit der brechenden oder zurückwerfenden Ebene selbst macht. Man findet zwar leicht, in welcher Bedeutung jeder Schriftsteller das Wort nimmt, indeß sollte man im Schreiben es immer in der ersten Bedeutung nehmen, da dies der herrschende Gebrauch ist.

B.

Einklang. S. *Ton.*

Einschattige.

Heteroscii; Heterosciens; *Heteroscii;* (von ἕτερος der andere, der eine von zweien, und σκιὰ der Schatten) heißen in der Geographie diejenigen Bewohner der Erde, welche um Mittag allezeit in Rücksicht auf sie selbst den Schatten nach der nämlichen Seite, in Rücksicht auf die Bewohner der andern Halbkugel aber nach entgegengesetzten Richtungen werfen. Jenes erstere liegt bei der deutschen, das Letztere bei der lateinischen Bedeutung des Wortes zu Grunde. Einschattige sind demnach die Bewohner der gemäßigten Zonen, insofern ihr

Schatten nur nach einer Seite fällt, nämlich der auf der nördlichen Halbkugel nach Norden, der auf der südlichen nach Süden; Heteroscii aber heißen sie, insofern jeder von beiden von den zwei entgegengesetzten Schatten einen andern erzeugen. Die Namen sind übrigens ohne allen weiteren Werth. *M.*

Eintritt.

Immersio; Immersion; *Immersion;* s. *Austritt,* wo alles hierher Gehörige mit erwähnt ist. *B.*

Eis.

Glacies; Glace; *Jee.* Wasser, das aus dem flüssigen Zustande in den festen übergegangen ist; *gefrornes Wasser.* Ein meistens ganz durchsichtiger, farbloser Körper, von ziemlicher Festigkeit, und sehr glatter Oberfläche.

Die wesentliche Bedingung dieser Veränderung des Aggregatzustandes der Wasserpartikeln ist *Entziehung der Wärme bis zu einer bestimmten unveränderlichen Temperatur*, welche wir auf unsern Thermometerscalen den *Eispunct* nennen, und der einen der fixen Puncte ihrer Eintheilung bildet. *Ueber* dieser Temperatur gefriert das Wasser niemals, und wir kennen keine mit demselben mischbare oder auflösliche Substanz, welche seinen Gefrierpunct erhöhen könnte. Dagegen giebt es Fälle, wo das Wasser, zumal in verschlossenen Gefäßen, bis nahe an 12 Gr. des 80theiligen Thermometers *unter* den Gefrierpunct, erkältet werden kann, ohne in festen Zustand überzugehen: Mechanische Erschütterung, Zutritt der kalten Luft, Berührung mit einem kalten Körper, namentlich mit einem Stücke Eis, bewirken dann ein plötzliches Gefrieren.

So schnell und bestimmt dieser Uebergang vom flüssigen Zustande in den festen ist, so scheint er dennoch Folge einer durch den Abgang der Wärme vorbereiteten Aenderung in der inneren Anordnung der Molecülen des flüssigen Körpers zu seyn. Wenn[1] nämlich *reines* Wasser von mittlerer Temperatur allmählig erkaltet, so zieht es sich immer enger zusammen, und wird specifisch schwerer, bis zu einer Temperatur von 3°,5 R. Hier ist das Maximum seiner Dichtigkeit. Dann dehnt es sich wieder aus bis zum Gefrierpuncte oder 0° R. nach Rumford um

1 S. Parrot Physik II. p. 58.

$\frac{1}{3226}$ oder 0,00031, nach DALTON[1] um etwa $\frac{1}{160}$ der Ausdehnung zwischen 3°, 5 R. und dem Siedepuncte, also um $\frac{0{,}0457}{160}$ oder 0,00028 seines Volums[2]. Hat das Wasser die Temperatur 0° R. erreicht, so bilden sich allmälig vom Stande des Gefäſses aus *feine Nadeln* oder *längliche Krystalle*, selten in senkrechter, meistens in schiefen Richtungen gegen den Rand[3]; ihre Winkelräume füllen sich mit zärtern Nadeln aus, die ebenfalls unter schrägen Winkeln von den Hauptkrystallen abgehen, und oft ganze gedrängte Büschel bilden. Zuweilen bilden sich daselbst einzelne fünf- oder sechseckige Sterne, deren Strahlen jedoch meistens von ungleicher Länge, einige gar nicht ausgebildet sind. Zusehends nehmen die ersten Krystalle an Stärke zu, die Zwischenräume füllen sich mit mannichfachen Gruppen zarter sich durchkreuzender Zweige und Büschel, bis zuletzt aller Raum ausgefüllt ist, und das Gewebe eine *zusammenhängende Haut* über die Oberfläche des Wassers bildet, wobei denn freilich, so wie diese an Dicke und Vollständigkeit zunimmt, jene zierlichen Krystallisationsgebilde sich verwirren und endlich ganz zusammenwachsen und verschwinden[4].

Nunmehr setzt sich die Krystallbildung *auch unterwärts* fort, so daſs die Eisrinde immer durchgehends die *nämliche Dicke* behält, und nur am Rande oder bei Berührung von festen Körpern etwas dicker wird. Die mannichfache Durchkreuzung jener Strahlen und Figuren bilden dann körperliche Zwischenräume, deren Winkel sich mit Eistheilen ausfüllen, so daſs sich dadurch runde und ovale *Blasen* im Eise bilden, welche dasselbe undurchsichtig machen, und deren Gröſse und Menge mit der Kälte oder der Beschleunigung des Gefrierungs-Processes zu wachsen scheint.

1 Mem. of the Soc. of Manchester. V. p. 294. Uebers. in G. Ann. XIV. p. 294.

2 Die Formeln und Tafeln T. I. pag. 615 dieses Wörterbuchs geben nur 0,00012.

3 Diese ersten Aeste sind meistens geradlinigt, doch bilden sich auch zuweilen ganz schmale geschweifte Zweige, an der Seite mit feinen Federchen versehen, ähnlich den Figuren an gefrornen Fensterscheiben.

4 Beim Gefrieren groſser Wasserflächen. Z. B. auf Seen soll diese Bildung einer Haut zuweilen plötzlich mit sichtbarer Schnelligkeit vor sich gehen, wie wenn das Wasser mit einem Tuch überzogen würde.

Während dem Gefrieren, selbst wenn keine Blasen wahrzunehmen sind, *dehnt sich das Wasser immer mehr aus*, so dafs es nach Dalton[1] bei — 10° R. und + 19° R. nahe die nämliche Dichtigkeit hat. Eine mit feinen Eisnadeln erfüllte, bis auf — 11° R. erkältete eingeschlossene Wassermasse, zeigte im Augenblicke des Gefrierens eine Ausdehnung, welche derjenigen gleich kam, die einer Temperatur von + 42°, 6 R. zugehört[2]. Doch ist es wahrscheinlich, dafs, zumal bei schneller Eisbildung, die Ausdehnung unterhalb des Maximums der Dichtigkeit in stärkerm Verhältnisse zunehme, als oberhalb desselben, da das *specifische Gewicht des Eises* zwischen 0,95 und 0,89 variirt.

Im Augenblicke des Gefrierens ist die *Temperatur des Eises immer gleich Null* der 80theiligen oder 100theiligen Scale, und, wenn es vorher im flüssigen Zustande eine bedeutend niedrigere Temperatur hat, so erhebt sich dieselbe im Momente des Erstarrens bis auf den Nullpunct. Auch die *Ausdünstung* wird dann stärker, als in den nähern Temperaturen über dem Nullpuncte.

Diese Erhebung der Temperatur ist eine Folge *der beträchtlichen Wärme, welche aus dem Eise im Augenblicke des Festwerdens sich entbindet,* und die nach Versuchen auf 60° R. oder zwei Dritttheile der Thermometerscale zu setzen ist.

Dieses sind die vornehmsten Erscheinungen, welche bei der Bildung des Eises sich darbieten. Es lohnt sich der Mühe, dieselben nach dieser cursorischen Uebersicht näher zu betrachten.

a. Erkältung des Wassers bis zum Eispuncte und unter denselben.

Rumford hat durch zahlreiche Versuche dargethan, dafs die Verschiedenheit der Temperatur in den Theilen einer Wassermasse verticale Strömungen hervorbringe, indem das schwerere Wasser herabsinkt, das leichtere hinaufsteigt. Da die Erkältung gemeiniglich an der Oberfläche der Flüssigkeit und den Wänden des Gefäfses zuerst sich äufsert, so werden die äufsern Wassertheile schwerer, und sinken an den Wänden herab, während dem das minder erkältete Wasser durch die Mitte

---

1 G. Ann. XIV. 296.

2 Nach der Tafel T. I. p. 616. dieses Wörterbuches = 0,01334.

hinaufsteigt, um an der Oberfläche einen Theil freier Wärme an die kältere Luft abzugeben und dann am Rande wieder niederzufliefsen. Diese Wanderung dauert so lange fort, bis alle Wassertheile das Maximum der Dichtigkeit erreicht haben, oder die ganze Masse bis + 3°,5 R. erkältet ist. Erst jetzt kann die Oberfläche noch unter die 3°,5 R. erkältet werden, und es tritt die Möglichkeit des Gefrierens ein; dieser einfache Hergang erklärt zugleich auch, warum seichtes Wasser viel früher als tiefes gefriert, und in Flüssen und Seen das Eis zuerst am Ufer sich bildet. So wird der Umstand, dafs das schwerste Wasser immer noch eine Temperatur von 3½° R. über dem Eispuncte behält, ein Mittel zur Erhaltung der stehenden Gewässer, welche sonst von Grund aus frieren, und eine Eismasse bilden würden, die mehrere Sommer nicht mehr zu schmelzen vermöchten.

Auch bei kleinern Wassermassen, welche in Gefäfsen dem allseitigen Zutritt der Kälte ausgesetzt werden, findet aus den angeführten Gründen die erste Eisbildung ebenfalls an der Oberfläche und an den Wänden des Gefäfses statt, und der wärmere Strom in der Mitte macht sich durch späteres Gefrieren, und die von der Ausdehnung des Eises herrührende Aufthürmung kennbar. Die Schwierigkeiten, welche die Bildung einzelner Eistheilchen jenen Strömungen entgegen setzt, macht dafs die bereits frei gewordene Wärme sich nicht nach der Aufsenfläche begeben und aus der Masse entfernen kann, und so bleibt in *ruhigstehenden verschlossenen* Gefäfsen ein merklicher Theil des Wassers noch ungefroren, indem es jene 60 Grade *latenter* Wärme noch festhält, selbst wenn seine Temperatur bedeutend unter den Nullpunct herabgesunken ist. FAHRENHEIT ist der Erste, der (am 2. März 1721) diese Erscheinung wahrnahm[1]. Er hatte in einer Glaskugel von 1 Zoll Durchmesser eine Portion Regenwasser durch Zuschmelzen während des Kochens luftleer eingeschlossen, und fand bei einer Kälte von — 7°,5. R. dasselbe dennoch flüssig. Als er die Spitze der angeschmolzenen Röhre abbrach, so erfüllte sich die Kugel augenblicklich mit sehr kleinen Eissplittern. Er schrieb anfangs das Nichtgefrieren dem Mangel an Luft zu; allein als er später beim Wegtragen einer solchen erkälteten Kugel stolperte, überzeugte er sich, dafs nur die Ruhe das Gefrieren verzögert habe, und jede Erschüt-

1 Philos. Transact. 1724. Nr. 382. Vol. XXXVIII. p. 78.

terung dasselbe sogleich hervorrufe. Ein Thermometer in diese Eisbildung gehalten, stieg sogleich auf Null.

Martin Triewald, Maschinen-Director des Königs von Schweden[1] fand im December 1729 daſs das Wasser in einem cylindrischen Gefäſse mit Cartesianischen Männchen in starker Kälte ungefroren blieb, aber sogleich erstarrte, als er mit der Hand auf die Blase drückte. Musschenbroeck[2] setzte Wasser in wohl verstopften Flaschen die Nacht über starkem Froste aus, und sah dasselbe beim Ausziehen des Stöpsels in einer Minute mit unzähligen Eissplittern sich füllen. Mairan[3] sah dieselben bei Erschütterung des Gefäſses durch eine zitternde Bewegung der Hand, und Anklopfen mit einem Schlüssel sich bilden, am schnellsten aber durch Berührung des Wassers mit der Spitze eines Eiszapfens; und er weiſs die Schnelligkeit, mit welcher die Bildung der Eissplitter und die daraus entstehende Undurchsichtigkeit des Wassers von der Oberfläche bis zum Boden des Gefäſses sich fortpflanzte, mit nichts besser zu vergleichen, als mit der Entzündung des Schieſspulvers. Späterhin bemerkte Brugmanns[4] Professor in Gröningen, daſs ein Wasserhammer selbst in einer Kälte von — 10°,7 R.[5] ungefroren blieb, und erst dann in Eis überging, als er denselben sachte umwendete. Ebendasselbe fanden im Jahr 1769 die Herren Coopmanns und Bacot in Gröningen bei wiederholten Versuchen[6]. Bei allen diesen Versuchen wurde die eigentliche Temperatur des ungefrornen Wassers nur durch äuſsere Thermometer ausgemittelt; einzig Micheli du Creot[7] hatte die Sorgfalt, ein Thermometer in die Flüssigkeit selbst zu hängen; es sank bis auf — 4°,0 R. und erhob sich bei der Eisbildung sogleich auf 0°. R. Eben dieses bestätigte auch Deluc[8], der in einem Kolben, worin ein Thermometer stand, Wasser von Luft gereinigt, einer Kälte von — 5° R. mehrere Tage lang aussetzte. Durch Berührung mit einem Stückchen Eise fror ein Theil davon plötzlich; der Rest erhielt die Temperatur des Ge-

1 In s. Briefe an Hans Sloane Philos. Trans. XXXVII. Nr. 418. p. 80.
2 Additamentum ad tentem. Acad. del Cimento. p. 186.
3 Dissert. sur la glace Part. II. Chap. III. et IV. p. 203.
4 Van Swinden Observ. sur le froid rigoureux du mois de Janv. 1776. p. 274.
5 Nicht — 11°,7 R. wie es in der ältern Ausgabe des Gehler'schen Wörterbuchs steht.
6 Van Swinden ibid. p. 275.
7 Mairan vom Eise (deutsche Uebersetzung) p. 165.
8 Idées sur la Météorologie I. §. 207.

frierpunctes und fror allmählig ganz zu, worauf das Thermometer der äufsern Temperatur folgte. Delüc[1] erklärt hieraus, wie im Luftkreise Bläschen von flüssigem Wasser existiren können, wenn gleich die Temperatur beim Gefrieren ist, weil zur Bildung des Eises aufser dem Erkalten noch irgend ein anderer bestimmender Umstand nöthig sey. Wirklich mufs man nach einem solchen sich umsehen, wenn man das Bestehen eines dichten Nebels bei einer Kälte von — 10°, — 11° und — 14° R. wie er unter andern am 13. und 30. Januar d. J. 1826 statt fand, sich erklären will.

In England hatte Blagden[2] Fahrenheit's Versuche mit mannigfachen Abwechslungen wiederholt. Destillirtes Wasser liefs sich bis auf 4° R. nach dem Kochen bis auf — 5° R. erkälten; hartes Brunnenwasser nur bis — 3° und 3½° R.; trübes Flufswasser gefror beim Nullpuncte. Trübung schien ein beständiges Hindernifs dieser Erkältungsfähigkeit zu seyn, welche hingegen durch Säuren und Salzauflösungen verstärkt wurde. Blagden fand, dafs zwar die Ruhe der Erkältung günstig, dafs aber, wie bereits Wilke[3] bemerkt hatte, eine Bewegung, welche die innern Theile gemeinschaftlich ergreift, das Gefrieren nicht herbeiführe. Wasser bis — 5° R. erkältet, ertrug Rütteln des Bechers, Umrühren mit einem Federkiele, Anblasen der Oberfläche, ohne zu gefrieren. Dagegen brachte eine anscheinend schwächere, aber die innern Theile *ungleich* erschütternde Bewegung, z. B. Aufstofsen des Bechers mit dem Boden, Anstofsen des Arms, der den Becher trug, Reiben mit dem Federkiel oder mit Wachs an der Seite des Bechers das Gefrieren sogleich zu wege. Am schnellsten erfolgte dieses, wenn man das Wasser mit einem Stückchen Eis berührte; es breiteten sich von der berührten Stelle sogleich die schönsten Eiskrystalle aus, und das Thermometer erhob sich alsobald von von — 5° R. auf 0°. In neuern Zeiten hat Gay-Lüssac die Erkältung des mit Oel bedeckten Wassers auf — 12° C. = 9°, 6 R. gebracht und Dalton[4] hat wahrgenommen, dafs das Wasser

1 Idées sur la Météorologie II. §. 610.

2 Philos. Trans. Vol. LXXVIII. P. I. p. 125 et 277 übers. in Grens. Journ. d. Phys. I. p. 87 u. 393.

3 Schwed. Abhandl. B. XXX.

4 Memoirs of the Society of Manchester. V. p. 374. übers. in G. Ann. XIV. 295.

selbst bei einer Temperatur von — 11° 4 R. noch ungefroren blieb; und da seine Versuche an einem Wasserthermometer angestellt wurden, dessen Scale durch Vergleichung mit einem Quecksilberthermometer bestimmt worden war, so blieb über die wirkliche Temperatur des Wassers kein Zweifel mehr übrig. Dafs zum Gelingen des Versuchs erforderlich sey, möglichst reines, und von Luft befreietes Wasser anzuwenden, ist daraus ersichtlich, weil einerseits im getrübten Wasser die kleinen festen Körper der Wärmeentladung und dem Ansetzen der Krystalle Gelegenheit geben, andrerseits die durch den innern Wärmeumtausch veranlafste abwechselnde Ausdehnung und Zusammenziehung der Luftbläschen die Bewegung im Innern und somit das Entweichen der latenten Wärme aus dem Wasser begünstigen würden. Dieses Letztere wird ebenfalls auch durch das Einsperren der Wärme vermittelst eines über dem Wasser befindlichen schlechten Wärmeleiters, wie Luft oder Oel, oder durch Verhinderung des Wärme-Umtausches an die äufsere Luft vermittelst Zuschmelzen, endlich, wie bei Dalton's offener Glasröhre, durch die Kleinheit der von der Luft berührten Wasserfläche verhindert.

Dafs *gekochtes Wasser eher gefriere, als ungekochtes*, ist durch zahlreiche Versuche von Mariotte, Perrault, Mairan und Blagden hinreichend widerlegt worden: es findet zwischen beiden hierin kein Unterschied statt.

b. Krystallisation des gefrierenden Wassers.

Parrot [1] nimmt an, die Bildung der kleinsten noch unsichtbaren Eistheile beginne bereits beim Punct der gröfsten Dichtigkeit des Wassers; eine Vermuthung, welche durch die Erfahrung nicht begründet werden kann, und der die Beständigkeit und scharfe Bezeichnung des sichtbaren Gefrierpunctes, so wie das erst bei dieser letztern Temperatur erfolgende Freiwerden der latenten Wärme entgegenzustehen scheinen. Sollten bereits bei jener höhern Temperatur sich Eistheile bilden, so müfste dieses zuerst am Boden des Gefässes, der Stelle der schwersten Theile, statt finden, da hingegen die ersten und kleinsten Spuren der Eisbildung an der Oberfläche wahrgenommen werden, auch beim Aufthauen alle Spu-

1 Physik. II. p. 65.

ren des Eises verschwinden, sobald die Temperatur des Wassers nur um ein Zehntel Grad über 0° R. sich erhebt. Wie dem auch sey, so belehrt uns die Thatsache, daſs erst, wenn die Oberfläche des Wassers auf 0° abgekühlt ist, vom Rande des Gefäſses aus (bei starker Kälte mit sichtbarer Schnelle) sehr feine Eis-Nadeln herauswachsen, welche meistens schiefe Winkel mit der Kante des Gefäſses bilden. Daſs diese ersten Eistheilchen vom *Rande* ausgehen, ist nicht nur der daselbst durch die Berührung eines festen Körpers bewirkten stärkern Wärmeentziehung, und der bei allen Krystallisationen sich ergebenden Anhängung an einen festen Körper, sondern nach Mairan[1] auch der Capillaritäts-Anziehung des Gefäſses zuzuschreiben, welche jeden schwimmenden Körper dem Rande desselben zuführt. Einige dieser Nadeln vergröſsern sich bald in besonderm Maſse, beim Gefrieren einer nicht sehr dünnen Wasserschicht meistens in gerader Richtung, zuweilen auch in schönen Schweifungen. Die Zwischenräume dieser unregelmäſsig sich durchbreuzenden Radien füllen sich allmählig mit feinern Nadeln und Büscheln derselben aus; hie und da bilden sich auch isolirte, sternförmige Gestaltungen mit fünf oder sechs Strahlen, die einer Federfahne vollkommen ähnlich, und zuweilen am Rande mit einem feinen Saum umzogen sind. Wodurch die Menge und Gestalt dieser Strahlen bedingt werden, ist unbekannt. Doch *scheint* eine mäſsige und langsamer wirkende Kälte geradere Nadeln und weniger kühne Schwünge zu liefern, als bei stärkerem Froste und schnellerem Gefrieren der Fall seyn möchte.

Besonders schön und kräftig zeigt sich diese mineralische Vegetation bei dünnen Wasserschichten und starkem Froste, wie z. B. beim *Gefrieren der Fensterscheiben.* Diese ergötzliche Erscheinung ist meines Wissens bisher noch keiner nähern Untersuchung gewürdigt worden, im Norden wohl deswegen, weil sie zu häufig und alltäglich, im Süden, weil sie zu selten ist. Mairan spricht davon als von einer Sache, die beim Thauwetter sich einstelle und leitet die Blumen-ähnlichen Formen und die Bogenschwünge theils von Adern im Glase, welche vom Umrühren der Masse auf der Glashütte entstehen, theils von der Bewegung der Hand beim Reinigen der Fensterscheiben her.

1 pag. 87. der deutsch. Uebersetzung.

Er stellte auch nur zwei Beobachtungen, die eine im Januar 1729; die andere im Januar 1743 darüber an. Bei diesem Mangel näherer Angaben erlaube ich mir daher das Wenige, was einige Wahrnehmungen im Januar 1826 mir zeigten, hier mitzutheilen.

Das Frieren der Fensterscheiben setzt gemeiniglich eine äufsere Temperatur von einigen Graden unter dem Gefrierpuncte voraus; nahe so grofs wenigstens mufs die Erkältung der innern Fläche des Fensters seyn. Daher zeigt es sich an den *äufsern* Fenstern geheitzter Zimmer erst bei einer äufsern Kälte von etwa — 4 bis — 5° R., weil die Zimmerwärme von etwa + 10° R. der Erkältung von Aufsen entgegenwirkt. Er findet sich mehr an den Fenstern *bewohnter* Zimmer, als in ungeheizten, weil in jenen mehr wässerichte Ausdünstungen entwickelt werden. Der Gang dieser Erscheinung ist folgender: Sobald die Fensterscheibe kalt genug ist, dafs Wasser daran gefrieren kann, setzen sich die *sogleich* gefrierenden Dünste in einem dünnen, überall gleichen, undurchsichtigen, mattglänzenden Ueberzuge an, der aus sehr kleinen, gedrängt beisammenstehenden, mehr oder weniger unausgebildeten Sternfiguren zu bestehen scheint, und nur hier und da durch zufällige Ursachen unterbrochen ist. Die Ränder dieses nebelartigen Gewebes sind unregelmäfsig und fein ausgezackt, ungefähr so wie man in kleinen landschaftlichen Darstellungen die Kante eines Tannenwaldes zu geben pflegt. Oft ziehen sich auf dem unbedeckten Theile der Scheibe einzelne gezackte Linien dieses Reifes fort, deren gerade oder gekrümmte Richtung wirklich den Zügen zu folgen scheint, die auf dem Glasse durch Abwischen oder auf andere Weise vorgezeichnet wurden. Bei fortdaurender Kälte häufen sich die anfrierenden Dünste und bedecken die ganze Scheibe mit einer gleichförmigen undurchsichtigen Haut. Auf dieser bilden sich sodann bei zunehmender Dicke einzelne rhomboedrische Krystallisationen, die verworren durch einander gehen, und nur durch die Verschiedenheit des durchgehenden nnd reflectirten Lichtes bemerkbar werden. Findet sodann durch Sonnenschein oder Zimmerwärme eine kleine unvollkommene Anschmelzung dieser porösen Eishaut statt, so entstehen bei dem schnellen Eintreten des Nachtfrostes jene schönen Blumengebilde, die auch der Ungebildete nicht ohne Vergnügen und Bewunderung betrachtet. In eleganten und kühnen Schwüngen erheben sich

meist von unten herauf (weil das Gefrieren unten als in der kältern Region anfängt, und die durch die Eisbildung selbst frei werdende Wärme in die Höhe steigt) dichte Büschel und schön gebogene Zweige, und breiten sich mannigfach verschlungen über die ganze Tafel aus; der matte Hintergrund der ersten Reifdecken des Glases giebt diesen Blumen einen schillernden Wechselglanz, auf welchem die feinen Lineamente der gedrängten Curven sichtbar werden. Bald sind es kleine blätterförmige Büsche, Verzierungen und Schnörkel aus gedrängten Fasern bestehend, wie Federn eines Helmbusches, bald kräftige mit mannigfachen Seitenzweigen versehene elegant gewundene Stämme, zuweilen bis auf 12 und 14 Zoll Länge in aufrechter Richtung, bald ein Gewirre mit zarten Haaren besetzter, durch einander verschlungener Stränge; alles in gesetzloser doch schöner Verwirrung.

Um die Natur in ihrer Malerei zu belauschen, behauchte ich bei einer äufsern Kälte von 7° R. eine mit dickem Reif bedeckte Fensterscheibe so lange, bis die Eiskruste wegschmolz, und auf der Glasfläche nur eine dünne Wasserhaut hängen blieb, die so zart war, dafs die Scheibe zumal an den obern Stellen dem Auge ganz trocken schien. Nach etwa 5 Minuten zeigten sich zu beiden Seiten, und bald darauf auch unten kleine gerade und gekrümmte Spitzen, die von dem noch stehen gebliebenen Eisrande aus in verschiedenen Richtungen ausgingen. Einige derselben schoben sich mit besonderer Schnelligkeit vor, und trieben nach beiden Seiten schön geschweifte Büsche, die bald darauf an Gröfse und Ausbreitung noch zunahmen. Es war ungemein ergötzend, das Entstehen und Wachsen jener buschigen Zweige mit dem Auge zu verfolgen; sie hatten ursprünglich ganz das Ansehen der wohlgeformten Fahne einer Schreibfeder; diese vorne scharf zugespitzte Fahne war anfänglich etwa 1 Linie breit, mit den zärtesten Seitenfasern versehen; letztere traten in vollständiger Anzahl ganz im nämlichen Momente aus ihrem Stamm heraus, so wie die Spitze sich vorwärts schob, was mit einer sichtbaren Geschwindigkeit von etwa ¼ Lin. in der Secunde statt fand. Das von den heraustretenden Spitzen sichtbar verdrängte Wasser umflofs dann in weicher Rundung die neuen Gewächse, so dafs nirgend etwas Scharfes, Eckigtes sich bilden konnte. Es war unmöglich, das immer rege Spiel einer

so kräftigen Vegetation auf allen Seiten zu verfolgen; manches Bemerkenswerthe mufste übersehen werden.

Die Figuren waren übrigens ganz klar und durchsichtig, weil ihnen der duftige Hintergrund der gewöhnlichen Eisfiguren fehlte. Doch waren sie, wenn ein dunkler Grund nicht allzunahe dahinter lag, durch die verschiedene Brechung des Lichtes vollkommen zu erkennen. Nach einigen Tagen fingen sie an, durch den Ansatz neuer Dünste ihre Schärfe zu verlieren, und die Scheibe wurde undurchsichtiger. Um den Versuch abzuändern, gofs ich eiskaltes Wasser auf eine geschliffene Glastafel, und liefs es bis auf eine dünne Lage ablaufen; es entstanden alsobald auf derselben, und zwar in *horizontaler* Lage der Tafel, die nämlichen schönen Gebilde, in mannigfach wechselnden Formen, unter den nämlichen Anfängen und Fortschritten. Ein grofses gewölbtes Uhrglas auf der convexen Seite mit Wasser begossen, bot die gleichen Erscheinungen dar. Jede neue Begiefsung, so wie jede neue Schmelzung des Eises an der Fensterscheibe lieferte ganz neue und veränderte Figuren; so dafs diese nicht, wie Mairan glaubte, gewissen Spuren und Faden auf dem Glase zugeschrieben werden können.

Ich hatte die Glastafel mit den Figuren in nahe verticaler Stellung zwischen die Doppelfenster meines Zimmers gesetzt, und später nicht mehr betrachtet. Inzwischen war die feine durchsichtige Eiskruste auf derselben, die, weil auf der Rückseite des Glases keine Erkältung statt fand, nicht durch abgesetzte Dünste sich vermehren konnte, allmählig verdunstet, und die Tafel vollkommen trocken. Zu meiner Verwunderung fand ich noch die Lineamente der frühern Eisgebilde in blafsgrauer Farbe, wenn auch nicht scharf und deutlich, doch ziemlich vollständig vorhanden; es war, wie ich auch durchs Mikroskop mit zwanzigmaliger Vergröfserung bestätigt fand, ein feiner Staub, der sich durch die innern Fenster hindurchgezogen, und auf die Faden der Figuren angesetzt hatte. Warum diese Absetzung nur auf den dünnen Zeichnungslinien und nicht auf der ganzen Oberfläche gleichförmig statt gefunden hatte, konnte ich nicht ausfindig machen. War es eine von den kleinen elektrischen Wirkungen, die der Natur so wenig zu kosten scheinen, oder hatte der Anflug des Staubes erst dann statt gefunden, als die aus dünnerem Eise bestehenden Zwischenräume der Lineamente bereits durch Verdunstung aufgetrocknet waren, das

konnte ich wegen Mangel gehöriger Aufmerksamkeit nicht entscheiden. Bei der Bildung der Eisfiguren versuchte ich es einmal, einen Magnetstab unter die ½ Lin. dicke Glastafel zu legen; allein ohne merkbaren Einfluſs auf die sich bildenden Gestalten.

Wenn, wie die eben erwähnten Erscheinungen uns zeigen, bei schnellem Gefrieren dünner Wasserschichten die krummlinigte Fortpflanzung der Eistheile vorherrschend ist, und höchstens in der Richtung der Seitenfassern jener Federbüsche eine Tendenz zur Gleichförmigkeit, namentlich die Anreihung unter dem Winkel von 60° bemerkbar wird, so tritt dagegen, wie bei allen Krystallisationen, der eigentliche Typus der Eisform desto bestimmter hervor, wenn die Operation mit möglichster Langsamkeit und Ruhe vor sich gehen kann. Wir finden ihn in aller Vollkommenheit ausgedrückt in den sternförmigen Flokken, die zuweilen bei starkem Froste aus der unbewölkten Luft einzeln herunter fallen. Im Schnee selbst sind diese Flocken zu gedrängt, und die Raschheit, mit welcher beim Schneefall die Dunstbläschen einer ganzen Wolke nicht durch gewöhnliche, sondern durch auſserordentliche, meistens von Elektricität begleitete Erkältung zum Gefrieren gebracht werden, ist der Regelmäſsigkeit ihrer Krystallisirung entgegen. Die schönste und vollständigste Sammlung solcher gefrorener Dunstfiguren hat uns Scoresby [1] geliefert. In allen drückt sich unverkennbar die Form des *regelmäſsigen Sechseckes* als Grundform aus; es sind wahre Bilder aus dem Kaleidoskop. Auch beim Gefrieren der Wasserflächen folgt die Richtung der Eisnadeln gegen die Wand des Gefäſses meistens einem Winkel von 60°, oder 120° oft auch von 30°, und die in der Mitte sich bildenden einzelnen Sterne sind in der Regel sechsstrahlig. Haüy [2] glaubte hieraus folgern zu dürfen, „daſs die Moleculen des Eises reguläre Tetraeder seyen, die, wie beim Fluſsspath, durch Zusammensetzung Oktaeder bildeten.

Im Jahr 1805 fand Héricart de Thury [3] im der Eishöhle zu Fondeurle im Dauphiné ungeheure Stalaktisten aus Eis, in

1 In s. account on the Arctic regions; und im Auszuge in den Ann. de Chim. XVIII. p. 38. desgleichen in W. Scoresby's Tagebuch einer Reise auf den Wallfischfang u. s. w. übers. von F. Kries. Hamb. 1825. Vergl. den Art. *Schnee*

2 Traité de Physique I, p. 249.

3 Ann. de Chim. XXI. 156. und Journ. des Mines XXXIII.

ihrem Innern hohl, und mit vollkommen krystallisirten Eisnadeln besetzt; es waren sechseckige und dreieckige Prismen bis auf 2 Linien Durchmesser; bei einigen waren die Endkanten an der Basis des Prisma durch Facetten ergänzt; doch fand sich nirgend eine ausgebildete Pyramide. Auch der Boden der Höhle war mit einer Eisdecke überzogen, in welcher man sechseckige Prismen unterscheiden konnte. Seither hat Dr. CLARKE[1] (am 3. Januar 1821) bei einer Kälte von ¼ Grad unter Null, unter einer hölzernen Brücke in Cambridge Eiszapfen entdeckt, deren Oberfläche anstatt der gewöhnlichen wellenartigen konischen Formen, bestimmte Vorsprünge mit scharfen Kanten und heraustretenden Wirbeln darbot. Es waren vollkommene rhomboidische Krystalle, mit Winkeln von 120 und 60 Grad; wie man sich durch Messung am Goniometer überzeugte, die bei Krystallen von dieser Gröfse (bis auf 1 Zoll Seite) keine Schwierigkeit darbot. Die Krystalle behielten, als einige Tage darauf, bei einer Temperatur + 3° R. Thauwetter eintrat, auch beim Schmelzen stets ihre rhomboidische Gestalt, ein Beweis, dafs die Anordnung der Theile durch die ganze Masse die nämliche war; mithin ist, nach Dr. CLARKE's Meinung, die *Primitivform des Eiskrystalls ein Rhomboid von* 60 *und* 120 *Graden*, und jene sechsseitigen Krystalle von Fondeurle waren nur Secundärformen. Auch nach CLARKE's Urtheil kann man nur bei einer *mäfsigen* Kälte, die wenig vom Gefrierpunct sich entfernt, regelmäfsige Krystalle erwarten[2].

c. Blasen im Eise.

Wenn das Wasser mit unzerschmolzenem Schnee, oder mit Unreinigkeiten gemischt ist, so wird das Eis blasig und undurchsichtig, und von weifsgrauer Farbe. Der Grund hiervon liegt hauptsächlich in der Menge von Luft, welche theils im Wasser selbst, theils im Schnee sich aufhielt, und jenen fremdartigen Körpern anhing. Allein auch reines und klares Wasser wird zuweilen mit kleinern oder gröfsern Blasen erfüllt. Dieses ist namentlich der Fall, wenn das Gefrieren sehr schnell vor

---

1 Ann. de Chim. XXI. 156.

2 Ueber die Gestaltung des bei Thauwetter benetzten Schnees auf den Eisfeldern im Meere, in gefrornen, Prismen, Pyramiden und Polyedern sehe man Scoresbys Bemerkung in s. Journ. of a Voyage to the Northern Whalfishery 1823. 8. deutsch v. FRIEDR. KRIES. 1825. pag. 260.

sich geht. Dann zumal wird die Wassermasse, noch ehe sie durchgängig eine gleiche Erkältung angenommen hat, an ihrer Aufsenfläche mit einer undurchdringlichen Eiswand umschlossen, welche der im Wasser befindlichen Luft den Ausgang versperrt; diese nimmt dann beim Erstarren der umgebenden Wassertheile die daraus freiwerdende Wärme auf, wird dadurch ausgedehnt, und bildet Blasen, die ihr ursprüngliches Volumen weit übertreffen. Eben deswegen ist Eis, das bei starker Kälte sich bildete, in den obern Schichten, wo die Wärme noch entweichen konnte, durchsichtiger als unterhalb.

Die Luft ist jedoch nicht die einzige Ursache der Blasan im Eise; sie entstehen auch zuweilen in Wasser, das durch Kochen oder Auspumpen seiner Luft beraubt worden ist. Lichtenberg[1] liefs Wasser, das er durch Kochen und Auspumpen von Luft möglichst befreit hatte, im Vacuo gefrieren, und fand das Wasser, wie in gefrornen Schaum verwandelt voll grofser Blasen. Eben das wiederfuhr Parrot[2] welcher ausgekochtes Wasser in einer wohlverschlossenen Flasche zu gleicher Zeit mit einer auf gleiche Weise verwahrten Quantität Wasser gefrieren liefs, das mit Kohlensäure stark imprägnirt war. Beide Flaschen enthielten eine undurchsichtige blasige Eismasse. Dagegen hat Muncke[3] in zahlreichen Versuchen aus gewöhnlichem Schneewasser immer ein blasiges, aus gekochtem hingegen immer ein meist blafsenfreies, sehr durchsichtiges Eis erhalten. Das Widersprechende dieser Angaben hat ohne Zweifel seinen Grund in der Verschiedenheit der Temperaturen, in welchen diese Versuche angestellt wurden. Muncke giebt hierüber nichts an; aber Lichtenberg sagt ausdrücklich, dafs er seinen Versuch bei *grofser Kälte* gemacht habe, und Parrot bezeichnet — 18° R. als die Temperatur bei seinen Versuchen. Wahrscheinlich wird bei der Beseitigung des äufsern Luftdruckes der Einflufs, den ein frühzeitiges Erstarren der Oberfläche auf die Bildung der übrigen Eismasse hatte, noch verstärkt, indem jene 60 Grade frei werdender Wärme im luftleeren Raume, wo das Wasser schon bei + 30° R. siedet, leicht Dämpfe erzeugen können, welche elastisch genug sind, um die sie umgebenden Eistheile auseinander zu halten.

1 Erxleben Naturl. §. 426. Zusatz.
2 Physik. II. 66.
3 Ueber d. Schiefspulver. p. 97.

d. Specifisches Gewicht des Eises.

Das Eis schwimmt auf dem Wasser; auch Grundeis erhebt sich an die Oberfläche, sobald es vom Boden sich losgemacht hat. Es ist also *specifisch leichter* als Wasser; allein sein Gewicht ist nach der Menge der darin enthaltenen sichtbaren oder auch unmerklichen Blasen sehr verschieden. Kraft [1] liefs Wasser in Glasröhren gefrieren, und fand die Ausdehnung des Eises wie 905: 1000, also specifisches Gewicht = 0,905; oder 10: 11. Irvine [2] wog möglichst festes und reines Eis in Schneewasser von + 0°, 9 R. Wärme; es senkte sich um $\frac{15}{16}$ ein; was 0,937 specifisches Gewicht giebt; eben dasselbe fand auch Scoresby [3], beide vermuthlich mit schwimmendem Polar-Eis. Nach Williams [4] Versuchen war die Ausdehnung $\frac{1}{17}$; also specifisches Gewicht = 0,945. Thomson verdünnte Alkohol so lange, bis das eingetauchte Eis in dem Gemische in jeder Stelle stehen blieb, ohne zu steigen oder zu sinken; das specifische Gewicht der Flüssigkeit war dasjenige des Eises; es ergab sich = 0,92, das Wasser bei 12°,44 R. = 1 gesetzt [5]. Placidus Heinrich [6] bestimmt dasselbe zu $\frac{76}{84}$ = 0,905. Vermuthlich ist das von Irvine und Scoresby untersuchte Seeeis der wirklichen Dichtigkeit dieses Stoffes am nächsten, und die niedrigern Angaben anderer Naturforscher rühren von der gröſsern oder geringern Porosität der gebrauchten Stücke her: daher man wohl das eigentliche specifische Gewicht des Eises auf 0,95 setzen darf. — Die Eigenthümlichkeit, beim Uebergange in den festen Zustand sich auszudehnen, hat das Wasser noch mit den meisten Salzen, wenigstens mit denen von prismatischer Krystallisationsform [7] und nach Réaumur [8] auch mit dem Guſseisen, dem Wismuth und Antimon gemein.

Bemerkenswerth ist auch die Erfahrung von Pl. Heinrich [9] über die fortgehende *Zusammenziehung des Eises bei zunehmen-*

---

1 Comm. Petrop. XIV. 222.
2 Phips Voy. to the Northpole. p. 144.
3 Mem. of the Wern. Soc. of Edinb. II. 1.
4 Gothaisches Mag. VIII. 176.
5 Chimie II. 161. Franz. Uebers.
6 G. Ann. XXVI. p. 229.
7 Vauquelin. Ann. d. Chim. XIV. 286.
8 Mém. d l'Acad. 1726 Berthollet Statique Chim. II. 348.
9 G. Ann. XXVI. 228.

der Kälte. Seinen Versuchen zufolge zieht sich ein Eiscylinder um 0,0003064 seiner Länge zusammen, wenn die Temperatur des ihn umgebenden Mittels um 10° R. abnimmt [1]. Hieraus liefse sich denn auch MAIRAN's Beobachtung, zufolge welcher ein Stück Eis, nachdem es 8 Tage lang dem Frost ausgesetzt gewesen, sein specifisches Gewicht um 0,013 vermindert hatte, aus der bloſsen Abnahme der Kälte erklären, ohne daſs man zu einer fortgehenden Ausdehnung desselben durch die Fortdauer der Kälte seine Zuflucht nehmen müſste. Vielleicht hatte sich auch durch Ansetzen von Feuchtigkeit neues poroseres Eis auf der Masse gebildet, und so das specifische Gewicht des Ganzen verändert.

e. Ausdehnung des Eises bei seinem Entsehen.

Die Kraft, mit welcher das Wasser beim Gefrieren seine Raumvergröſserung bewirkt, ist so bedeutend, daſs sie den stärksten Expansivkräften, die wir kennen, z. B. der Gewalt der Wasserdämpfe und der des Schieſspulvers zur Seite gesetzt werden kann. Schon HUYGENS überzeugte sich davon, als er im Jahre 1667 Wasser in einem eisernen Rohre verschlossen, gefrieren lieſs, und dieses nach 12 Stunden an zwei Stellen geborsten fand; ein Versuch, der drei Jahre später von BÜOT [2] mit gleichem Erfolg wiederholt wurde. Noch vollständigere Versuche wurden von der *florentinischen Akademie* angestellt [3]. Sie lieſs mehrere starke Gefäſse und Kugeln aus Glas und verschiedenen Metallen mit Wasser gefüllt der Kälte aussetzen, die alle zersprangen; unter diesen befanden sich eine messingene Kugel von 2,9 Z. äuſserm u. 1,3 Z. innerm Durchmesser. MUSSCHENBROECK berechnet die dazu nöthige Kraft auf 27720 Pfunde; und dieses gäbe nach PARROT [4] 21800 Pf. auf einen sphärischen Kubikzoll Eis.

Im Jahre 1785 zersprengte WILLIAMS in Quebek [5] eine Bombe von 12¼ Z. Durchmesser und 1½ bis 2 Zoll Metallstärke.

1 Vom Eise p. 211. deutsche Uebers. ohne thermometrische Angaben.

2 Hist. de l'acad. 1670.

3 Tentam. experimentorum in Acad. del Cimento captorum: Edidit P. van Musschenbroek. Lugd. Bat. 1731 4.

4 Physik. II. 59.

5 Trans. of the Roy. Soc. of Edinb. II. und im Gothaischen Mag. VIII. 176.

Eine ganze Scheibe von Eis war durch den Rifs hervorgedrungen. Bei — 17° R. wurde ein 2½ Pf. schwerer eingetriebener Stöpsel 62 Fufs weit geschleudert, und es drang augenblicklich ein 4 Zoll langer Eiscylinder heraus; und bei — 23° R. Kälte und unter einer Richtung von 45° flog der Stöpsel sogar 415 Fufs weit. Wahl zu Michelstädt im Odenwalde[1] bediente sich des Eises, um alte Bomben zu zersprengen. Unter andern wurde bei — 17° R. eine mit Wasser gefüllte Bombe von Gufseisen von 18¼ Par. Z. Durchmesser und 2¼ Zoll Metalldicke so vollständig zersprengt, dafs Stücke von 150 Pf. 10 Schritte weit geschleudert wurden. Muncke[2] berechnet die dazu erforderliche Kraft auf 2648000 Pfunde. Aehnliche Beispiele von ungeheurer Kraftäufserung liefert das Zersprengen der Felsen und starker Bäume durch die Ausdehnung der in ihrem Innern gefrierenden Flüssigkeit, da sie bei noch gröfserer Kälte in unbestimmbarem Mafse wachsen mufs.

Mehrere der ältern Naturforscher, und mit diesen auch neuerlich der scharfsinnige Parrot[3] leiten diese Wirkung von der Expansivkraft der im Wasser befindlichen Luft her; und der Letztere schreibt derselben die nämliche Dichtigkeit wie dem Wasser selbst zu, da dieses auch nach dem Auspumpen der Luft das gleiche specifische Gewicht behält. „Die beim Gefrieren frei werdende Wärme mufs daher (nach Parrot) jener Luft eine Expansivkraft mittheilen, welche dem 800 fachen Druck der Atmosphäre gleich ist, was auf die Oberfläche eines sphärischen Zolls eine Kraft von 35168 Pf. ausmachte.“ Allein dieser Voraussetzung steht einerseits die bestimmte Erfahrung entgegen, dafs Gefäfse mit ausgekochtem Wasser, vom dichtem blasenfreien Eise eben so gut und (nach Muncke[4]) *weit eher* zersprengt werden, als solche, in welchen das Wasser nicht ausgekocht wurde, und die Annahme als sey durch „das Auskochen nicht alle Luft ausgetrieben worden, und die zurückgebliebene entwickele sich beim abermaligen Kochen im Moment des Frierens mit eben der Expansivkraft, wie im ungekochten Zustande,“ möchte wohl schwerlich nachzuweisen seyn. Andererseits ist es gar nicht nöthig anzunehmen, dafs die dem

1 Trans. of the Roy. Soc. of Ed. II. u. im Goth. Mag. VIII. 74.
2 Ueber das Schiefspulver S. 96.
3 Physik II. 67.
4 Ueber das Schiefspulver. S. 97.

Wasser inhärirende Luft das specifische Gewicht desselben vermindern könne; dieses wäre nur dann der Fall, wenn die Wassermasse einen *geschlossenen* Körper bildete, in welchem die Luft eingesperrt wäre. Da diese aber, wie auch die Leichtigkeit ihres Entweichens zeigt, durch die Poren des Fluidums mit der *Atmosphäre in freier Verbindung* steht, so kann sie auf das Aräometer nicht einwirken. Dieses wird auch durch das von Henry gefundene Gesetz [1], daſs auch „bei verändertem äuſserm Drucke die Volumina der absorbirten Gasarten sich immer gleich bleiben, mithin das Gas im Wasser die nämliche Dichtigkeit, wie das äuſsere habe, vollkommen bestätigt [2]. Endlich können wir schwerlich dem Wasser eine so groſse Anziehungskraft auf die Luft zuschreiben, die dem Druck von 799 Atmosphären gleich käme. Mithin fällt die Basis dieser Erklärungsart, die 800fache Verdichtung der im Wasser befindlichen Luft, unsers Erachtens weg, und wir sind genöthigt, eine andere Ursache jener auſserordentlicher Ausdehnungskraft zu suchen.

Diese bietet uns jener oben erwähnte Typus der Zusammenfügung der Eistheile, die *Krystallisation* dar, die wir sowohl beim Gefrieren in palpabler Gröſse, als auch (z. B. in den feinen Schneefiguren) bis in die kleinsten Nachbildungen verfolgt finden. So fein wir auch diese Theile annehmen, so werden sich immer eckige Zwischenräume ergeben, die nicht mit Eissubstanz erfüllt sind; und wenn wir auch für einmal nicht vermögend sind, eine auf glaubwürdigen Calcul gegründete Theorie dieser Conglomeration aufzustellen, so liegen doch die beiden Thatsachen, die *Krystallisation*, und die *Raumvergröſserung* einander so nahe, daſs es inconsequent scheint, ihnen eine ursächliche Verbindung abzusprechen. Schon frühere Naturforscher Kepler, Descartes [3] und nach ihnen Bartholin [4]

1 Th. I. dies. Wörterb. Art. *Absorption*; S. 48.

2 Ebenso durch die Wahrnehmung, daſs Fische im Wasser (aus Mangel an Sauerstoffgas) bald sterben, das mit einer Oelschicht bedeckt ist. Versenkt man einen Fisch in gefrornes Wasser, das *unter Oel* aufgethaut ist, so stirbt er *augenblicklich*; ein Beweis, daſs die Blasen im Eise keine *Luftblasen* sind. Auch nach Humboldt und Gay Lussac giebt geschmolzenes Eis nur halb so viel Luft her, als gewöhnliches Wasser. S. Carradori im Journ. de Phys. T. LXII. S. 473 und G. Ann. XXVIII. S. 414. Ferner G. Ann. XX. S. 135.

3 De meteoris.

4 De nivis usu medico.

suchten die sehsstrahligen Eisfiguren aus der Anordnung von sechs Kugeln herzuleiten, welche um eine siebente herumliegen, so dafs sie je drei einander berühren. In neuerer Zeit hat Dalton [1] die Ausdehnung des Wassers beim Gefrieren durch eine Veränderung der Aggregation seiner Theile zu erklären gesucht und seine Hypothese durch eine Berechnung unterstützt, deren Ergebnifs von der Erfahrung nicht viel abweicht. Er geht von der Voraussetzung aus, dafs die kleinsten Theile des Wassers Kugelgestalt haben, und dafs diese Kügelchen dergestalt auf einander gelegt seyen, dafs die zweite horizontale Schicht in die Zwischenräume der erstern gelagert sey, mithin jedes Kügelchen auf vier Puncten ruhe, welche um 45° über den Mittelpunct der Kügelchen der ersten Schichte erhaben sind [2]. Fig. 15. u. 16.
Nennt man die Zahl der Kügelchen, welche in einem cubischen Gefäfse in einer linearen Reihe sich befinden $= n$, so bezeichnet n^2 die Menge der Kügelchen in einer Horizontalschicht; und da die Linie A C, welche die Centra zweier sich berührender Kugeln in verchiedenen Stratis verbindet, mit der Horizontal-Ebene einen Winkel von 45° macht, so wird die Anzahl der Lagen in der gegebenen Höhe des Cubus $= \frac{n}{\text{Sin. } 45} = \frac{n}{\frac{1}{2}\sqrt{2}}$ seyn. Hieraus findet sich die Zahl der Theilchen, in dem rubischen Gefäfse $= \frac{n^3}{\frac{1}{2}\sqrt{2}} = n^3 \sqrt{2}$.

Man denke sich nun, dafs die viereckige Säule, deren Basis ein Quadrat ist, plötzlich zu einem rhomboidalen Körper ausgezogen werde. Jedes Theilchen der oberen Lage ruht dann auf drei andern der untern Lage, und die Richtung der Mittelpuncte AC ist $= 60°$; mithin die Erhöhung $= \frac{n}{\text{Sin. } 60} = \frac{n}{\sqrt{\frac{3}{4}}} = \frac{2\,n}{\sqrt{3}}$. Die Grundflächen der beiden Säulen verhalten sich nun wie 1 zu $\sqrt{\frac{3}{4}}$; ihre Höhen CD wie $\frac{1}{2}\sqrt{2}$ zu $\frac{1}{2}\sqrt{3}$; ihr körperlicher Inhalt aber wie die Producte der Grundflächen in die Höhen oder wie $\frac{1}{2}\sqrt{2} : \frac{3}{4}$; d. h. 0,7071 ... zu 0,750 oder wie 0,943 zu 1, ein Werth, der von demjenigen des fe- Fig. 17 u. 18.

---

1 Chemical philosophy. T. I. p. 155. (d. deutschen Uebers.).

2 Von den Figuren zeigen die 15. und 17. einen Grundrifs, die 16. und 18. dagegen eine Profilverbindung.

sten Eises nach Irvine und Scoresby (0,937) nicht merklich abweicht.

So sinnreich diese Erklärung, und so übereinstimmend mit der Erfahrung sie ist, so beruht sie dennoch auf Voraussetzungen, die nur die Möglichkeit für sich haben und nirgends in der Beobachtung nachgewiesen werden können; und sie dürfte uns noch nicht berechtigen, andere Hypothesen, z. B. diejenige Winkler's [1], noch welcher die Volumsveränderung von einer Zerlegung in kleinere Kügelchen oder polyedrische Körper herrühren sollte, von diesen Speculationen auszuschliefsen [2]. Wie dem auch sey, diese Ausdehnung und die unwiderstehliche Kraft, mit der sie sich bildet, ist Thatsache, und sie scheint eben deswegen beim Wasser die eigentliche Bedingung des Ueberganges in den festen Zustand zu seyn, so wie hingegen bei andern Stoffen z. B. dem Quecksilber, eine bedeutende Zusammenziehung damit unzertrennlich verbunden ist, und Williams mochte wohl Recht haben zu behaupten, dafs Wasser nicht gefrieren könne, so lange seine Ausdehnung durch äufsere Gewalt verhindert werde.

Die Wirkungen dieser Ausdehnung zeigen sich in den Erscheinungen des gewöhnlichen Lebens auf mannigfache Art. Der Frost hebt Schwellen und Steinpflaster in die Höhe, zersprengt oft mit heftigem Knalle Steine und Bäume, Mauern, Wasserleitungen, und dergleichen; er zerstört durch diese Ausdehnung die Gefäfse der Pflanzen; daher ältere Bäume, deren Zellgewebe weniger elastisch ist, mehr vom Frost leiden, als die jüngern. Er wirkt dagegen wohlthätig zur Auflockerung des Bodens, und ist die wesentlichste Ursache der Verwitterung der Felsgebirge, wie das namentlich die zahlreichen und mächtigen Trümmer, mit welchen die Gletscherthäler erfüllt sind, beweisen.

---

1 De causa frigoris et glaciei. 1737. 4.

2 Durch einen Vorgang dieser Art dürfte vielleicht beim Härten des Stahls die Feinheit des Kornes oder die Gröfse der Molecülen bestimmt werden. Denn da bei einem Conglomerat von kugelförmigen oder polyedrischen Körpern die Summe ihrer Zwischenräume desto gröfser wird, je kleiner diese Körper werden, so mufs, da die Aufsenwände des Stahls beim Härten in einem expandirten Zustande erstarren, die Masse sich in kleinere Theile zerstreuen, wenn die Form ihrer Aggregation und die Zahl und Lage der Berührungspuncte sich gleich bleiben soll.

f. Freiwerden von Wärme bei der Eisbildung.

Eben so wie die Ausdehnung scheint auch die Ausscheidung eines bestimmten Quantums von Wärme mit zu den Bedingungen des Ueberganges in den festen Zustand beim Wasser zu gehören. Die oben erwähnten Versuche über die Erkältung des flüssigen Wassers unter den Eispunct geben diese plötzliche Wärmeentwicklung zu erkennen, indem im Momente des Erstarrens das Thermometer schnell auf den Nullpunct stieg. Genauer jedoch wurde sie durch den umgekehrten Procefs bestimmt, in welchem man das Quantum Wärme abmafs, das zur Liquescirung eines bestimmten Quantums festen Wassers erforderlich war. Der Versuch ist folgender[1]: Mischt man gleiche Theile Schnee von 0° R., und Wasser von + 60° R., mit einander, so wird der Schnee geschmolzen, und das Gemisch erhält die Temperatur vom 0° R. Die 60° R. Wärme des Wassers wurden also einzig darauf verwendet, den Schnee aus dem krystallisirten Zustande in denjenigen des liquiden Wassers hinüberzubringen. Ist die Temperatur des Wassers geringer als 60° R., so erfolgt die Schmelzung nicht vollständig; ist sie höher, so wird die Wärme des Gemisches über 0° R. Mischt man umgekehrt 1 Pfund Schnee von — 10° R. mit $\frac{1}{6}$ Pf. Wasser von 0° R. so gefriert die ganze Masse und erhält die Temperatur 0°. Eine sechsfache Masse von Schnee zu — 10° ist aber gleich einer einfachen Masse von — 60°; also erzeugen gleiche Gewichtstheile Schnee von — 60° und Wasser von 0° keine Erkältung, weil das flüssige Wasser beim Festwerden + 60° R. Wärme hergiebt, welche sich mit jenen — 60° R. des Schnees neutralisiren. Die Schwierigkeit, ein solches Gemisch von allem Einflufs der äufsern Temperatur frei zu halten, hat in die Angaben hierüber einige Verschiedenheit gebracht. Wilke setzt diese dem Wasser als Bedingung des flüssigen Zustandes inhärirende Wärme auf 58° R., Black auf 62 $\frac{2}{9}$ und Lavoisier auf 60° R., oder zwei Drittheile des Intervalls vom Eis - bis zum Siedepuncte des Wassers.

Als einen directen Beweis der beim Gefrieren des Wassers frei werdenden Wärme führen wir die Versuche von De la Beche in Genf an, welcher im J. 1820 2 Theile Wasser mit

---

1 Parrot. Phys. II. 62.

1 Theil Oel bedeckt, einer Kälte von — 9° R. aussetzte. Das Oel blieb flüssig, so lange das Wasser nicht gefroren war, und gerann erst 3 Stunden nachher, während dem anderes daneben stehendes Oel schon in den ersten Minuten des Versuches gefroren war. Als man bei einem andern Versuche das Thermometer ins Oel setzte, zeigte es — 0°,6 R., als das Wasser zu gefrieren begann; und erst nachdem alles Wasser *dem Anschein nach* gefroren war, fiel es auf — 4° R. *wobei das Oel dennoch flüssig blieb.* Endlich gefror auch dieses, und nun ging das Thermometer auf — 9° R. herab, welches die Temperatur der umgebenden Luft war. Als man die Flasche mit 2 Theilen Wasser und 1 Theil darüber gegossenem Oele einer Temperatur von + 0°, 6 R. aussetzte, gefror das Oel alsobald, während dem das Wasser flüssig blieb. Es *thaute aber* um $\frac{1}{10}$ seiner Dicke an der die Luft berührenden Fläche *wieder auf*, als man dasselbe nachher einer Kälte von — 8° R. aussetzte, welche das Wasser zum Gefrieren brachte, und wurde erst später, nachdem alles Wasser gefroren war, wieder fest[1].

g. Festigkeit des Eises.

Mairan[2] liefs Wasser in einer 4 Linien weiten Röhre gefrieren; den herausgenommenen Cylinder legte er auf zwei Unterlagen, die 6 Z. weit von einander standen. Dieser trug kurz vor dem Zerbrechen 1 Pf., 1 Unze und 2 Quentchen. Die Resultate waren jedoch je nach der Porosität des Eises und der längern oder kürzern Zeit, da es an der Luft gelegen hatte, verschieden. Im Winter von 1740 wiederholte Mairan diesen Versuch mit einem Cylinder von 1 Z. Durchmesser, der 24

1 Eine auffallende Erfahrung über die Wärme, welche bei der Krystallisation auch anderer Stoffe frei wird, berichtet Dr. Benj. Scholz (in s. Physik. Wien 1816. 8. S. 254). Er hatte eine bis zum Krystallisationspuncte abgedampfte Lauge von salzsauerm Kalk, im Winter vors Fenster zum Krystallisiren hingesetzt. Da nach einiger Zeit dieses nicht vor sich gehen wollte, nahm er die Schale herein, um die Flüssigkeit weiter abzudampfen. Durch diese Erschütterung fing die ganze Lauge augenblicklich zu krystallisiren an, die Schale wurde aber auch schnell so heifs, dafs es kaum möglich war, sie noch bis zum nächsten Tisch hinzutragen. Dabei fing die Lauge sich heftig zu bewegen und zu wallen an, als ob sie im heftigsten Sieden begriffen wäre. Auch Glaubersalzsolution, welche im Vacuo erkaltet ist, und durch den Zutritt der Luft krystallisirt, entbindet hierbei Wärme. Vgl. *Krystallisation*.

2 Vom Eise. S. 215.

Stunden einer Kälte von — 9° R. ausgesetzt gewesen war. Bei dem nämlichen Abstande der Unterstützungspuncte trug es 10¼ Pf. und zerbrach von 11 Pfunden. Ein vergleichender Versuch, den Mairan mit einem Prisma aus weißsem Marmor, dessen Querschnitt ein Quadratzoll betrug, und das bei 10 Zoll Abstand der Unterlagen 84 Pf. (zu 8 Unzen) gerade vor dem Zerbrechen trug, giebt, wenn man die Tragkraft des quadratischen Prisma mit $\frac{11}{14}$ auf diejenige des Cylinders von 1 Zoll Durchmesser reducirt[1], und den Eiscylinder auf 10 Z. Länge setzt, die zum Zerbrechen des Marmors und des Eises erforderlichen Gewichte =61,8 und 6,3 Pf. mithin die Festigkeit des Eises 10mal geringer, als die des Marmors. Die auffallendste Probe von der Festigkeit des dichten Eises lieferte die berühmte Construction, die im Winter 1740 zu St. Petersburg unter der Regierung der Kaiserin Anna aus behauenen, 2 bis 3 Fuſs dicken, Blöcken des Newaeises aufgeführt wurde. Es war eine Art Pallast von 52½ Fuſs Länge, 16½ Fuſs Breite 20 Fuſs Höhe, mit einer Bedachung aus Eis. Vor demselben standen 6 Kanonen, die auf der Drehbank gebohrt und gedreht worden waren, mit Rädern und Laffetten, nebst zwei Mörsern nach den üblichen Proportionen verfertigt, alles von Eis. Die Kanonen waren Sechspfünder, die 3 Pf. Pulver gebrauchen; sie wurden jedoch nur mit ¼ Pf. geladen, und Kugeln aus Werch, ja selbst eiserne daraus geschossen. Eine solche Kugel durchschlug ein 2 Zoll dickes Brett in der Entfernung von 60 Schritten.

Im J. 1795 lieſs Weber[2] in Landshut aus groſsen Eisstücken der Donau Kanonen und Mörser drehen. Sie wurden mit Kugeln von Eis geladen, und das Pulver durch die Zündröhre angezündet. Ungeachtet der erfolgten gewaltigen Explosion litt das Eis nicht im Geringsten. In den Mörser paſste eine Eiskugel, die 36 Loth schwer war; sie wurde senkrecht in die Luft geschossen, flog zu einer auſserordentlichen Höhe, und es vergingen beinahe zwei Minuten, bis sie wieder auf die Erde fiel. Auch beim Thauwetter gelang der Versuch vollkommen; nur muſste man den Mörser mit Löschpapier austrocknen.

Wenn das Eis schon an sich so starke Cohäsion zeigt, so wird seine Festigkeit noch sehr vermehrt, wenn es über einer

---

1 Eytelwein Statik II. S. 318.

2 G. Ann. XI. 353.

ausgedehnten Wasserfläche gelagert ist. Der Widerstand, den das Wasser jeder örtlichen Zusammendrückung entgegensetzt, schützt die Eisrinde gegen eine Einbiegung, welche die Trennung seiner Theile zur Folge haben könnte, und vertheilt die Last auf mehrere Stellen. Frisches, auf klaren Gewässern schnell gebildetes Eis zeigt eine merkliche Elasticität und Zähigkeit. Die Dicke von einem Zoll und weniger reicht hin, um einen Mann zu tragen, indem der Druck auf eine Fläche sich vertheilt, die den Raum, den seine Füfse einnehmen, weit übertrifft; dagegen darf er nicht lange auf der nämlichen Stelle bleiben; auch dürfen nicht mehrere zusammentreten. Eis, das einen stehenden Mann kaum noch tragen würde, bricht, eben jener Vertheilung wegen, weniger ein, wenn er sich auf dasselbe hinlegt. Als man im J. 1683 über die gefrorene Themse mit Wagen fuhr, fand sich das Eis nur 11 engl. Zoll dick. Auch die Anhängung des Eises am Ufer vermehrt seine Tragkraft bedeutend [1].

h. Verdünstung des Eises.

Dafs das Eis durch Verdünstung wirklich einen merklichen Theil seiner Substanz verliere, ergiebt sich schon aus der allmäligen Abstumpfung und Rundung seiner scharfen Ecken und Kanten, selbst in einer Temperatur, bei welcher an keine Schmelzung zu denken ist. Auch bestätigen frühere Versuche diese Verdünstung. Gauteron [2], Arzt in Montpellier, fand im Jahr 1708, dafs 1 Unze Eis über Nacht 24 Gran, also in 24 Stunden etwa $\frac{1}{10}$ ihres Gewichts, ein andermal 100 Gran, oder über $\frac{1}{6}$ desselben verlor. Das letztere stimmt mit Mairan's Beobachtungen überein [3], nach welchen er das Maximum dieses Verlustes in 24 Stunden auf $\frac{1}{5}$ des Gewichts setzt. Wie grofs die Oberflächen waren, wird nicht gesagt. In neuern Zeiten hat Dalton [4] zum Behuf seiner neuen Theorie der Ver-

1 Einen Versuch, eine Eisdecke mittelst Schiefspulver zu sprengen, von J. Mearns angestellt, findet man in dem Edinb. philos. Journ. N. 4. und deutsch in G. Ann. LXVII. 111. Man bediente sich dazu des wirksamen Verfahrens, das Schiefspulver in einem Fläschchen 2 Fufs tief in das Wasser zu versenken. Durch wenige Unzen desselben wurde eine Eisschichte von 3½ Zoll Dicke in einer Ausdehnung von 45 F. Länge und 33 F. Breite völlig zerbrochen.

2 Mém. de l'Acad. 1709. S. 451.

3 Vom Eise S. 240.

4 Mém. of the philos. soc. of Manchester V. u. G. Ann. XV. 140.

dunstung der Flüssigkeiten diesen Gegenstand untersucht und gefunden, „dafs die Verdünstung des Eises das nämliche Gesetz „befolge, wie diejenige des Wassers, dafs sie nämlich eine „Function der *Trockenheit* der Luft, ihrer *Temperatur* und der „*Oberfläche* des Eises sey.“ Er hatte Wasser in einer flachen zinnernen Schale von 6 Zoll Durchmesser, der nämlichen, mit welcher er die Verdunstung des Wassers gemessen hatte, gefrieren lassen, und dieses (freilich nur in Temperaturen von 0° bei — 2½° R.) der Luft ausgesetzt. Es ergab sich, dafs diese Fläche von 28 Quadratzollen etwa 9,6 Gran in der Stunde; mithin auf 1 Quadratzoll 0,34 Gran in dieser Zeit verlor. Bei der mit grofser Kälte meistens verbundenen grofsen Trockenheit der Luft und den dann zumal herrschenden Nordostwinden dürfte die Verdunstung des Eises wohl zuweilen aufs Doppelte steigen; zugleich ist es einleuchtend, dafs sie durch die beim Gefrieren statt findende Wärmeentwickelung, zumal wenn die Operation schnell vor sich geht, bedeutend gesteigert werden mufs; daher sie in dieser Epoche oft stärker ist, als selbst bei einer höhern äufsern Temperatur. Setzt man Eis von 0° R. Wärme einer Kälte von etwa — 15° R. aus, so entsteht ein *sichtbarer* Dunst um dasselbe[1].

i. Durchsichtigkeit und optisches Brechungs-Vermögen des Eises.

Das Eis giebt, wenn es frei von Blasen, und seine Oberfläche mit Wasser befeuchtet ist, an Durchsichtigkeit dem Wasser selbst wenig nach, und seine Farbe ist derjenigen, welche eine dicke Wasserschicht zeigt, gleich, nämlich *bläulichtgrün;* besonders schön zeigt sich dieselbe in den, zwei bis drei Fufs dicken Eisblöcken, welche man aus Seen und klaren Flüssen, z. B. der Newa, ausbricht, in den Höhlen und Spalten der Gletscher, und in den schwimmenden Eismassen des Meeres. Sein Brechungsvermögen ist etwas geringer, als dasjenige des Wassers; es verhält sich nämlich nach Kraft[2] der Sinus des Einfallswinkels zu demjenigen des Brechungswinkels im Eise wie 1 · 0,713 im Wasser wie 1 zu 0,75. Man kann daher mit linsenförmigen Eisstücken eben so gut die Wärmestrahlen des

1 S. die Versuche von C. Wistar in American Trans. IV. 72. u. bei G. V. 354.

2 Abhandl. der Petersb. Akad. III. 466.

Sonnenlichtes verdichten, wie mit gläsernen Linsen, und Mairan hat mit einer solchen Eislinse von 4 Zoll Diameter und 3½ Z. Brennweite Schieſspulver entzündet. Nach Brewster[1] ist die dic *polarisirende Kraft des Eises* = $\frac{1}{2601}$; die des Bergkrystalls = $\frac{1}{111}$.

k. Leitungsfähigkeit des Eises für Wärme und Elektricität.

Daſs Eis einigermaſsen die Wärme leitet, erhellet daraus, weil es mit der äuſsern Temperatur sich mehr oder weniger unter dem Gefrierpunct erkälten kann. Einen directen Versuch über die Wärmeleitung des Eises hat unsers Wissens nur Dalton[2] angestellt, der jedoch nicht zu dem Schluſs berechtigen kann, das Eis für einen noch schlechtern Wärmeleiter als das Wasser zu erklären. Er setzte einen soliden Eiscylinder von 3 Zoll Durchmesser und 5¼ Z. Höhe etwa 1 Zoll tief in eine Frostmischung aus Schnee und Salz. Oben im Cylinder befand sich ein enges Loch von 1 Z. Tiefe, in welches ein Thermometer gesteckt wurde. Die Temperatur der umgebenden Luft war + 2°,3 R.; diejenige der Mischung in den ersten anderthalb Stunden des Versuchs — 10° bis 11° R. Das Thermometer im Eise stand lange unbeweglich der Temperatur der Luft gleich und sank endlich um ¼° R. Späterhin schmolz der Cylinder unterhalb ab und fiel auf die Seite, so daſs die Thermometerkugel nur noch um 1 Z. weit von der kältenden Flüssigkeit abstand; in dieser Lage zeigte es — 1°,7 R. während dem die Frostmischung von — 8° R. bis — 4°,5 R. zurückging.

In der ersten Hälfte des Versuches hatte die Thermometerkugel 3¼ Z. *über* der Frostmischung gestanden; kein Wunder also, daſs sie der viel nähern Temperatur der Luft folgte, und von der untern Kälte, die niemals in die Höhe zu steigen pflegt, nicht afficirt wurde; doch nahm sie späterhin, als sie in gleicher Höhe mit der Frostmischung, und in gleichem Abstande von dieser und der äuſsern Luft sich befand, die mittlere Temperatur an, so daſs also dieser Versuch eher *für* die Wärmeleitung des Eises, als *gegen* dieselbe zu sprechen scheint. Da sie aber nur für die Temperaturen *unter* Null statt finden kann, so wird sie

1 J. de Ph. 1817. T. II. S. 398.

2 Mem. of the Soc. of Manchester V. S. 2. u. S. 373. deutsch in G. Ann. XIV. 191.

blofs bei grofser Kälte bemerkbar, und das Eis dient wenigstens durch Abhaltung des Luftzuges als Beschützung gegen die äufsere Kälte. Es hindert, besonders wenn es noch mit einer Schneelage bedeckt ist, die fortgehende Erkältung der Seen und Flüsse. In Sibirien [1] setzt man Tafeln von klarem Eise in die Fensteröffnungen ein, und läfst sie durch Begiefsen dicht angefrieren. Selbst diejenigen, welche Glasfenster besitzen, setzen auf der Aufsenseite eine solche Tafel als Doppelfenster ein, und die Eskimo's finden hinreichenden Schutz gegen die gröfste Kälte in ihren ausgehöhlten Eiskonen, was schwerlich der Fall seyn könnte, wenn das Eis ein guter Leiter der Wärme wäre.

Ungleich entscheidender sind die Versuche, welche über die elektrische Leitungsfähigkeit des Eises angestellt worden sind. *Das Eis ist ein völliger Nichtleiter der Elektricität.* Erman [2] liefs in einer mit Wasser gefüllten Glasröhre zwei Platindrähte so einfrieren, dafs sie nur $\frac{1}{8}$ Zoll von einander abstanden. Dennoch, als er diese Drähte mit den beiden Polen einer thätigen Volta'schen Säule verband, ging keine Spur von Elektricität über; die an beiden Polen angebrachten Elektrometer behielten ihre völlige Divergenz, und die Säule ertheilte Funken und Schläge von gleicher Intensität, wie im unverbundenen Zustande der Pole. Keine Schmelzung des Eises, keine Veränderung an andern oxydirbaren Drähten liefs sich wahrnehmen, selbst wenn man die Schenkel einer aufrechten krummgebogenen Röhre, in deren Biegung unten sich Eis befand, mit Wasser auffüllte, zeigte sich keine Spur von Mittheilung oder chemischer Wirkung. Bouvier [3] versuchte es, eine Säule aus 80 Lagen Zink, Silber und sehr dünnen Eisscheiben zu bauen, sie verrieth auch nach mehrern Stunden nicht die geringste Wirkung. Eben dieses war auch der Fall mit einer Säule von 90 Lagen aus Silber, Eis und Pappscheiben, die in Salzwasser getränkt waren, und mit einer Säule aus Zink, Eis und Pappscheiben. Wenn man die Pole einer kräftigen Säule aus 128 Lagen Zink, Silber und mit Salzwasser benetzter Pappe, die heftige Schläge gab, mit kleinen Eisstücken berührte, verspürte man

1 Gmelins Reise nach Sibirien (in den allg. Hist. d. Reisen XIX. 286. oder auch in der Göttinger Sammlung neuer und merkwürdiger Reisen. V. 401.

2 G. Ann. XI. p. 166.

3 Journ. de Phys. p. Van Mons. Nr. 10. S. 52. übersetzt in G. Ann. XIII. 434.

nicht die geringste Erschütterung; eben so wenig irgend einen Geschmack, wenn man, den einen Pol der Säule mit der Hand anfassend, mit einem Stückchen Eis im Munde den andern berührte. Was endlich die Nichtleitung des Eises aufser allen Zweifel setzt, ist die von Erman[1] beigebrachte Nachricht, dafs Achard aus trockenem Eise einen drehbaren Cylinder einer Elektrisirmaschine verfertigt habe, die gute Funken gab.

1. Aufthauen des Eises.

Der Uebergang in den flüssigen Zustand, oder dasjenige, was bei Metallen *Schmelzung* heifst, wird beim Eise *Aufthauen* genannt. Dieses erfolgt in derjenigen Temperatur, welche bei den Thermometern durch den Schmelzpunct des Eises oder den sogenannten Gefrierpunct bezeichnet zu werden pflegt. Das Zergehen des Eises geht meistens langsamer von statten, als das Festwerden desselben. Denn die Wärme vermag aus dem flüssigen Stoffe schneller zu entweichen, als sie in den festen Körper eindringen kann, den sie nur an der Oberfläche bestreicht. Auch ist ihr Bestreben, sich aufwärts zu bewegen, ihrem Entweichen aus dem Wasser auf der Erde in den freien Luftraum günstig, und ihre Einführung in die niedrigen Luftschichten wird oft nur durch die Bewegungen der Atmosphäre, durch Wind und Regen beschleunigt. Daher das Eis in solchen Einsenkungen, die den Sonnenstrahlen und dem Luftzuge unzugänglich sind, z. B. in Eishöhlen und Eisgruben, in Bergschluchten u. dgl. nicht leicht schmilzt. Das Aufthauen ausgedehnter Schneemassen wird auch durch die Herstellung jener 60° R., welche die Fluidität des Wassers bedingen, merklich verzögert, so dafs in Schneebedeckten, wasserreichen Gegenden das Thermometer oft viele Tage lang nur wenig über den Eispunct sich erhebt. Regen und heftige warme Winde sind die wirksamsten Beförderungsmittel der Aufthauung. Der erstere wirkt um so kräftiger, da überhaupt bei gleicher Wärme *dichtere* Körper das Eis schneller schmelzen. Silber und Kupfer sollen es hierin den andern Metallen zuvorthun. Nach Homberg[2] soll in luftleerem Raume das Schmelzen des Eises um dreimal schneller vor sich gehen, als in der Luft. Eben dieses ist nach Leslie auch im Wasserstoffgas der Fall. Das Eis zer-

1 G. Ann. II. 168.

2 Mém. de l'Acad. 1693. T. X. S. 265.

geht nicht gleichförmig, sondern einige Stellen, besonders die Eisfäden, mit welchen das Gefrieren begann, widerstehen der Auflösung länger; daher wird es porös und brüchig. Auf Seen treiben oft lange noch dünne Eisfelder herum, die, kaum über das Wasser hervorragend, nur durch ihre mattere Oberfläche vom Flüssigen zu unterscheiden sind. Diese sollen nach der Aussage von Augenzeugen *plötzlich in ihrer ganzen Ausdehnung zu versinken scheinen;* eine Erscheinung, die leicht statt finden kann, wenn die Eisrinde so dünn geworden ist, dafs ihr zehnter Theil dem Zusammenfliefsen des Wassers auf ihrer Oberfläche keinen erheblichen Widerstand entgegenzusetzen vermag. Nach Martens[1] zergeht das Eis im Salzwasser viel schneller als im süfsen Wasser.

m. Anomale Eisbildung, Grundeis.

Der deutsche Name bezeichnet diese Art von Eis so bestimmt, dafs sie kaum einer Erklärung bedarf. Es ist Eis, welches am *Boden* der Gewässer sich erzeugt. Es findet sich nicht in Teichen oder Seen, sondern nur in *bewegtem* Wasser, und macht den gröfsten Theil des Treibeises aus, welches Flüsse, die nicht aus Seen ablaufen, zu Anfang des Winters mit sich führen, und welches in der Folge durch die Hemmung der Strömung das Gefrieren des Flusses an seiner ganzen Oberfläche veranlafst. Die Art, wie dieser Gegenstand von den meisten physikalischen Schriftstellern abgefertigt worden ist, gehört zu den Schattenseiten unserer Naturlehre, und zeigt, mit welcher Vorsicht die Anwendung auch wohl gegründeter Doctrinen, wenn sie (nicht etwa mit den vermeintlichen Erfahrungen Neuigkeitslustiger Physiker, sondern) mit den Thatsachen des sogenannten Volksglaubens in Widerstreit geräth, verfolgt werden mufs.

Schon durch sein äufseres Ansehen unterscheidet sich das Grundeis von demjenigen, das an der Oberfläche des Wassers sich bildet, es ist poröser, grauer, schwammiger als jenes, und sieht mehr einem durchnäfsten Schneeklumpen, als eigentlichem Eise ähnlich. Bei näherer Untersuchung zeigt sich dasselbe aus einer Menge kleiner, dünner, runder und durchsichtiger Eisscheiben, von etwa $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser bestehend[2], deren Zwi-

1 Reise nach Grönland im Jahre 1671. Recueil des voyages au Nord. T. II. p. 41. Ed. Amsterd. 1732. 8.

2 Merian in d. Ann. der Allgem. Schweizerischen Gesellsch. d. Naturf. Bd. II. S. 59. Bern 1824. 8. u. Bibl. Univ. XXVIII. 125.

schenräume sich in der Folge noch mehr ausfüllen. Es erscheint erst bei anhaltender Kälte, und soll durch Winde, welche der Bichtung des Stromes entgegenwehen, besonders befördert werden; am Grunde setzt es sich an hervorragenden Stellen des Rodens an, von welchen es später, sey es durch die Strömung oder bei erfolgendem Thauwetter, sich losreifst, und durch seine specifische Leichtigkeit gehoben, Sand und Steine, oft schwere am Boden gelegene Körper als Zeugen seiner Abstammung an die Oberfläche mit sich bringt.

Der Erste, welcher die allgemeine Erfahrung der Landleute, Fischer, Müller und Schiffleute zur Sprache brachte, war Plot in seiner Naturgeschichte von Oxfordshire[1]. Seine Angaben wurden etwa drei Decennien später von Hales[2] aufs Umständlichste bestätigt, und nicht nur durch fremde Zeugnisse, sondern durch eigene in den Wintern 1730 und 1731 genommene Ansicht und Untersuchung aufser Zweifel gesetzt, er fand, dafs das Grundeis sich zuerst ansetzte, wo die Geschwindigkeit des Stromes geringer war, und dafs dasselbe auch ohne vorhergegangenen Schneefall sich erzeuge. Es fand sich in der Themse an solchen Stellen, wo Fluth und Ebbe noch wirkt, und auch da, wo diese nicht mehr statt hatte. Die Wasserleute an der Themse fühlten das Grundeis mit ihren Stangen mehrere Tage vorher, ehe die Oberfläche des Flusses überfror, und *sahen* es auch mit solcher Gewalt vom Boden emporsteigen, dafs es auf der schmalen Kante stehend ½ bis 1 Fufs über die Oberfläche hervorschofs, eine Zeitlang in dieser Stellung blieb, und dann auf die flache Seite sich hinlegte. Weder so evidente Thatsachen, noch die Autopsie eines Mannes, der sich so eben durch ein classisches Werk als gründlichen Physiker erwiesen hatte, selbst die von ihm beigefügte natürliche Erklärung, „dafs dieses Gefrieren am „Grunde, da es nie in Seen und Teichen sich zeigt, der *Bewe-„gung* des Wassers, die alle Theile durch einander werfe, und „so eine gleichförmige Erkältung in allen Schichten bewirke, „zuzuschreiben sey," konnten den Abbé Nollet[3] abhalten, die ganze Sache für Täuschung und für ein Vorurtheil des Pöbels

1 Natural hist. of Oxfordshire 2. Ed. fol. 1705. S. 28.

2 Vegetable Statics. Lond. 1731. 8. im Appendix. Die Ausgabe von 1727 enthält hiervon nichts.

3 Mém. de l'Acad. p. 1743. p. 51.

zu erklären, für dessen Widerlegung er sich sogar entschuldigen zu müssen glaubte. Seine Einbildung, nichts gelten zu lassen, was nicht in seine Erklärung paſste, wich selbst nicht der eigenen Untersuchung, die er im J. 1743, als bei einer Kälte von — 10° R. die Seine gefroren war, anstellte. Er lieſs an verschiedenen Stellen, näher und ferner vom Ufer das Eis aufhauen, und fand die Stücke an ihrer untern Fläche nicht eben, wie dies am Eise stehender Gewässer der Fall ist, sondern schwammig und locker, wie von zerstoſsenem Eise. Das Wasser in den Löchern war nicht klar, sondern es enthielt eine Menge kleiner, loser Eisstücke, ähnlich denjenigen, welche an der Unterfläche des Eises sich angesetzt hatten. Ja, was noch auffallender war, so oft man auch die Löcher von diesen Eisfragmenten reinigte, so kamen immer wieder neue hervor und die Arbeiter erklärten, daſs dieses lose Eis, welches sie *bouzin* nannten, sich während der Nacht auf dem Grunde erzeuge, und am Tage durch die Sonne heraufgezogen werde; es sey daher auch meistentheils schmutzig, mit Erde, und selbst zuweilen mit Grashalmen vermengt. Diesem Allem setzte Nollet nur das, einseitig von ihm erkannte, Naturgesetz, und (allerdings mit besserm Rechte) die Bemerkung entgegen, daſs nach seinen Beobachtungen das Wasser unter dem Eise bei verschiedenen Kältegraden und Dicken der obern Eisrinde am Grunde niemals die zum Gefrieren erforderliche Kälte besessen habe. Spätere Versuche haben uns jedoch[1] hierüber eines Andern belehrt[2].

Nollet's Ansehen, und der Anschein von Wissenschaftlichkeit im Gegensatze zum Volksglauben überwog die Zeugnisse der englischen Physiker; ihm pflichtet Mairan[3] unbedingt bei, und selbst der gründliche Gehler[4] in den frühern Ausgaben dieses Wörterbuches fertigte die Sache als ein altes Vorurtheil kurz ab. Ihm waren vermuthlich Desmarest's[5] und Brauns[6] Untersuchungen unbekannt geblieben, deren zahlreiche Thatsachen jeden Zweifel über diese Sache ausschlieſsen. Desmarest erklärte vor der Akademie, daſs er im Winter von

1 Mém. de l'Acad p. 68.
2 Siehe unten die Versuche bei Straſsburg.
3 Vom Eise p. 157.
4 Phys. Wörterb. I. p. 676.
5 Mém. de l'Acad. 1776 und Journ. de ph. 1783. I. p. 30.
6 Journ. de Ph. 1783. II. p. 59.

1780 am Boden des Canals, der Montgolfiers Papierfabrik mit Wasser versieht, das Eis habe sich bilden und aufsteigen gesehen; eben das hatte er auch in der Drome an solchen Stellen wahrgenommen, wo der Strom zu reifsend war, um an der Oberfläche zu gefrieren. Er bemerkte, dafs das Grundeis von *unten* her wachse, und dafs die dadurch bewirkte Erhebung seiner obern Fläche zuweilen in einer Nacht 5 bis 6 Zoll betrug. Brauns sah in der Elbe ebenfalls das Eis vom Grunde aufsteigen; er liefs eines Abends in mehr als 20 Fufs tief zwölf Körbe hinunter, um Aale darin zu fangen, zur Zeit als der Flufs noch frei von Eis war. Als sie Tags darauf in der Mittagsstunde herausgezogen wurden, fand man sie inwendig (wo das Wasser ruhiger gewesen war) ganz mit durchsichtigen Eiskügelchen inkrustirt. Das Innere war mit kleinen Eisscheiben, von höchstens 2 Quadratzollen Fläche und $\frac{1}{6}$ Zoll Dicke erfüllt. Brauns bemerkt, dafs nach der Ordnung dieser Körbe das Eis nicht habe von Aufsen eindringen können. Eine Menge unzweifelhafter Beobachtungen über das Grundeis, von verschiedenen Beobachtern entlehnt, stellt Brauns[1] zusammen, und Desmarest[2] fügt noch aus den Denkschriften der Haarlemer Societät das merkwürdige Factum hinzu, dafs versunkenes Holz, und sogar einmal ein Boot, das im Spätjahr bei Krimpen im Lech versunken war, durch ansitzendes Eis erleichtert, an die Oberfläche des Wassers gehoben worden sey. Brauns bemerkt, dafs die haarigen Stoffe, Hanf, Wolle, Moos u. dgl. am leichtesten mit Eis besetzt werden. Unter den Metallen hänge es sich am ehesten an Kupfer, Messing, Stahl, Zinn an; von den Steinen an den weichen Sandstein, und alle rauhen Steine; weniger dagegen an glatte, oder auch an Backsteine. Ein runder Stein vulcanischer Natur wurde nie besetzt. Eben so wenig die Harze, Siegellack, Pech, Colophonium, Wachs, Wachstuch, Seide, gegerbtes Leder, und abgehobeltes Holz.

Die Zahl der Zeugen, welche das Grundeis im Boden der Flüsse selbst gesehen haben, läfst sich noch täglich vermehren; Besson[3] beobachtete es am Niederrhein; Leslie[4] behauptet es

---

1 Hannöv. Magazin. 1783. Nr. 20—22.

2 J. de Ph. XXXIII. 68.

3 J. de Ph. XXXIV. 387.

4 On heat and moisture. Vorrede.

von mehrern Flüssen in Sibirien, in der Schweiz u. s. w. Garnet erzählt, daſs ein Wehr des Flusses Wharfe in Yorkshire zuweilen am Boden mit einer dicken Eiskruste bedeckt werde, so daſs diese zuletzt einen förmlichen Damm bildet. Merian[1] verfolgte das Phänomen im St. Albancanal in Basel; und ich selbst habe das Grundeis im Januar 1826 im Canal der Sihl in Zürich oft gesehen. Es lag fest auf den Kieseln des Fluſsbettes in unförmlichen Klumpen von 2 bis 3 Fuſs Länge, weiſslicht grau, gerade wie Merian es beschreibt. Das auffallendeste Beispiel dieser Eisbildung aber berichtet der K. Preus. Lootsen-Commandeur Steenke in Pillau[2]. Am 9. Februar 1806 kamen bei einem starken Südostwinde und + 1° R. Wärme die 6 Klafter langen eisernen Ketten, woran die Tonnen des Seegatts befestigt sind, und die seit Jahren bei Schappelts-Wrack in einer Tiefe von 15 bis 18 Fuſs verloren gelegen hatten, plötzlich an die Oberfläche des Wassers herauf, und schwammen auf derselben; sie waren aber *mit Eis* in einer starken Mannsdicke ringsum völlig candirt. Eben so stiegen Steine, 3 bis 6 Pfundschwer, von selbst auf die Oberfläche; sie waren mit einer starken Eiskruste umgeben. Auch kam ein Tau von 3½ Zoll Dicke und etwa 30 Klafter Länge, das im verwichenen Sommer in 30 Fuſs Tiefe verloren gegangen war, wieder zum Vorschein, und lag horizontal auf dem Wasser; es war aber auch von Eise ringsumher 2 Fuſs dick befroren. An eben diesem Tage muſste ein Schiff, das aus der See kam, gegen den Ostwind eingewarpt (d. h. an einem vorwärts ausgebrachten Anker in den Hafen gezogen) werden. Der Anker, den man dazu gebrauchte, war, nachdem er eine Stunde im Grunde gelegen hatte, dergestalt mit Eis befroren, daſs es nur der Hälfte der gewöhnlichen Kraft bedurfte, um ihn in die Höhe zu bringen.

Die eigentliche Erklärung, wie die Bildung des Grundeises möglich sey, wird uns, wie schon Hales einsah, durch die Beobachtung selbst zugewiesen, nämlich durch den Umstand, daſs das Grundeis nur in *bewegten*, niemals im ruhigen Wasser sich findet. Im *bewegten Wasser* kann jene Lagerung der Wasserschichten nach dem Verhältniſs ihrer durch die Temperatu

1 a. a. O. S. 61.

2 Gilb. Ann. XXII. p. 332. u. Hamb. Corresp. Nr. 41. u. 48. 1806 Pillau ist der Hafen von Königsberg am Ausfluſs der Pregel.

bedingten Dichtigkeit unmöglich statt finden. Die Strömung bringt unaufhörlich so mannigfache Bewegungen, Wälzungen, Windungen und Strudel hervor, welche den geringen Unterschied des specifischen Gewichts der zwischen 0° und dem Puncte der gröfsten Dichtigkeit nur $\frac{1}{100000}$ ausmacht, leicht überwinden, so dafs die ganze Wassermasse so ziemlich gleiche Schwere und somit auch gleiche Temperatur erhält. Wird nun die Oberfläche des Stromes erkältet, wozu eine entgegengesetzte Luftströmung durch das Aufwühlen der Wasserfläche besonders wirksam ist, so theilt sich diese Abkühlung allmählig der ganzen Masse mit, so dafs diese durchgehends bis auf Null erkältet wird. In diesem Falle bieten dann die Hervorragungen des Bodens, und die ruhigern Stellen des Wassers der Krystallbildung willkommene Stützpuncte dar, während dem eben die Bewegung sie in den übrigen Theilen des Wassers unmöglich macht. Da aber, wie wir oben unter a. gefunden haben, die Erschütterung gerade ein Beförderungsmittel des Gefrierens wird, wenn das Wasser unter Null erkältet ist, so folgt, dafs auch selbst bei grofser Kälte die Oberfläche des Wassers immer noch so viel Wärme festhalten und an sich ziehen müsse, dafs sie nicht merklich unter den Eispunct erkältet werde. Diese Wärme steigt ihr aus den untern Schichten zu. Ist einmal durch die beständige Abkühlung der Oberfläche alle entbehrliche Wärme der Wassermasse in ihrer ganzen Tiefe aufgezehrt, so müssen die geschützten Stellen in den festen Zutand übergehen, damit aus jenen freiwerdenden 60 Graden (s. oben bei f.) das bewegte Wasser mit so viel Wärme versehen werden könne, als nöthig ist, um es bei Null zu erhalten. Es ergiebt sich hieraus 1. dafs vorerst die ganze Masse eines Stromes mit seinem Zuflufs durchgängig bis auf Null erkältet seyn mufs, ehe ein Flöckchen Grundeis sich bilden kann. 2. Dafs die Temperatur des Stromes nirgends *unter* Null gehen kann[1]. 3. Dafs bei fortgehender Erkältung diejenigen Stellen, wo das Wasser ruhiger ist, sey es am Rande der Oberfläche, oder hinter schützenden Erhöhungen auf dem

1 Dieses wird auch durch directe thermometrische Untersuchungen, die am 11. Febr. 1816 bei Strafsburg im Rhein bei 12° Kälte angestellt wurden, bestätigt. Das Wasser zeigte an der Oberfläche, auf 6 Fufs Tiefe am Grunde, und in der mittlern Tiefe von 3 F. beständig Null. Auch das Grundeis hatte eben diese Temperatur. S. Bibl. Univ. VII. 304.

Grunde, gefrieren müssen, um die zur Fluidität der bewegten Wassermasse erforderliche Wärme herzugeben. Durch diese erste Ansetzung wird die Zahl der ruhigen Stellen im Strome vermehrt; die Zwischenräume füllen sich aus, und es entstehen Eisklumpen, deren Volumen bald groſs genug ist, um durch den Unterschied des specifischen Gewichts die Adhäsion am Boden zu überwinden; die Massen steigen empor, und der Fluſs treibt Grundeis. Mit der Vermehrung desselben wird der freie Lauf des Stromes gestört, es bilden sich ruhige Zwischenstellen an der Oberfläche, die bald gefrieren und mit jenen schwimmenden Fragmenten vereint den Strom mit einer, gegen fernere Abkühlung beträchtlich schützenden, Eisdecke überziehen, deren Bildung ohne das Grundeis unmöglich gewesen wäre.

II. Eisbildungen der Natur im Groſsen.

1. Gletscher; Glacier; *Ice-hill.*

Die ungeheuren Ablagerungen von unvergänglichem Schnee und Eis in den Thälern und auf dem Rücken der Hochgebirge.

Die Temperatur des Erdballs ist in den groſsen Höhen der mildern Zonen, und in den weniger erhöhten Gebirgen der Polarländer so niedrig, daſs die atmosphärischen Niederschläge, die über dem flachen Lande und dem Meere als Regen herabströmen, dort meistens als Schnee niederfallen, der unverändert und ungeschmolzen, nur von Stürmen umhergeworfen, in immer wachsenden Lagen sich aufhäuft. Seine breiten Gefilde verdecken in sanften Abhängen die Felsklüfte des zerrissenen Gebirges und bahnen dem muthigen Ersteiger den Weg zu sonst unzugänglichen Höhen. Wenn der überwiegende Druck eigener Schwere diese verjährten Lasten zum Fallen bringt, oder eine äuſsere Kraft sie vom steilen Abhange herabwirft, so zerfallen sie in Wolken von feinem Gestöber, das der Wind verweht. Oft auch stürzt die verdichtete Schneelast als Lawine in die Tiefe des Thales, und mehrere Sommer vermögen nicht sie zu schmelzen. So lagern sich die Schneemassen zu beiden Seiten des Gebirgszuges in den *Querthälern* desselben, während dem das breitere Längenthal von einem Strome durchzogen wird, der die Producte ihrer allmäligen Schmelzung dem niedrigern Lande zuführt. Je mehr sich der Zug der Gletscher dem Grunde des tief eingeschnittenen Thales nähert, desto mehr wirkt das mildere Klima der tiefern

Gegenden auf seine Verwandlung ein. Sonnenwärme, Regen und der Hauch warmer Winde zur Zeit des Sommers durchziehen die zusammengedrückte Schneelagerung mit Wasser, und so wird bei der Rückkehr der Kälte aus der Masse ein Schneeeis gebildet, das unterhalb dichter, in den höhern Regionen unvollständiger und lockerer ist; die obersten Höhen, welche nie Schmelzwasser oder Regen durchdringt, werden nur leicht von einer dünnen glänzenden Eiskruste überzogen, die unter dem Fuſs des Wandernden einbricht.

Die nämlichen Umstände, welche die Entstehung eines Gletschers bedingen, sind auch seiner Erhaltung günstig. In Höhen, wo ein neunmonatlicher Winter den Regen der Thalgegend in Schnee verwandelt, kann der kurze Sommer nur einen geringen Theil jener zwischen hohen Felswänden eingeschlossenen, gegen Wind und Sonne geschützten Eislagen schmelzen. Es müſste sich also Schnee auf Schnee häufen, und das Gerippe des Gebirges so hoch überdecken, daſs nur ungeheure, zerstörende Schneestürze die Ueberlast entladen könnten, und die jetzt fruchtbaren Thalgegenden weit umher unbewohnbar würden. Die Natur jedoch, immer schaffend und verändernd, weiſs das Gleichgewicht durch einfachere und gelindere Mittel wieder herzustellen. Sie läſst die Gletscher weit unter ihren Entstehungspunct in die Ebene des Hauptthales hinunter gleiten. Dicht an beblümte Wiesen, zwischen obstreiche Bäume, und in reifende Saaten hineingedrängt, kann die Eismasse der Hitze und den erwärmenden Regengüssen eines kräftigen Sommers nicht widerstehen; und wenn auch die immer sich nachschiebende Masse zuweilen keine Verminderung zu erleiden scheint, so sind doch die reichen Wasserströme, die dem Fuſs des Gletschers entfliessen, unverwerfliche Zeugen seiner Abnahme.

Der Gletscher läſst sich seiner äuſsern Beschaffenheit nach einem gefrornen Strome vergleichen, der zwischen den Felswänden eines Gebirgthales in einer Länge von 2 bis 4 deutschen Meilen und $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{4}$ Meile mittlerer Breite in verschiedenen Senkungen ins tiefere Thal hinabsteigt. Da wo er wenig geneigt ist, gleicht seine Oberfläche einer rauhen hügelichten Ebene mit körnigem Schnee bedeckt, der hie und da in der Nähe des Ufers vom Sande und Staube der verwitterten Felsen beschmutzt ist. Hier zeigen sich sparsamer jene weiten und tiefen Spalten,

die, oft von einer trügerischen Schneebrücke verdeckt, dem Reisenden verderblich werden. Wo aber die Unterlage des Gletschers sich stärker senkt, da findet er sich in gewaltige Eisblöcke zerklüftet, die bei jähen Abschüssen wild über einander gestürzt in wunderbaren gigantischen Formen von Thürmen und Gewölben vom prächtigsten Blau erglänzen. Am Ausgange des Gletschers ist seine Oberfläche mit Sand und herabrollenden mächtigen Felstrümmern bedeckt, die zu einem Damme (Moraine genannt) sich anreihen, der beim Schmelzen abgelegt auch nach Jahrhunderten die Stelle zeigt, bis zu welcher die Eismasse vorgerückt war. Hier bildet das Eis oft prächtige, haushohe Grotten, deren Tiefe graulichtweifs der Strom entrinnt, und deren Wände das reinste Dunkelblau wiederstrahlen.

Woher dieses Vorrücken der Gletscher komme, darüber sind die Meinungen verschieden. Saussüre[1] erklärt dasselbe sehr einfach dadurch, dafs durch die Wärme der Erde, für welche die auch im Winter dem Fufs des Gletschers entfliefsenden Quellen zeugen, im Sommer durch die Erwärmung des Bodens überhaupt und durch die Einwirkung der Luft die untersten Lagen des Gletschers geschmolzen werden, wodurch die feste Verbindung der Eismasse mit dem Boden aufhört, und diese hauptsächlich in der mildern Hälfte des Jahres durch die Wirkung der Schwere auf der schiefen Fläche des Bodens in langsamer und anhaltender Bewegung allmälig hinunter rutscht.

Diese ganz natürliche Erklärung schien jedoch einigen Naturforschern nicht genügend; sie verwarfen die allmälige Bewegung durch die mächtige Kraft der Schwere, und glaubten eine weit geringere Wirkung zu Hülfe nehmen zu müssen, nämlich die Ausdehnung des in den Gletscherspalten befindlichen Wassers, wenn es zu Eis gefriert. Besonders ist diese Idee von dem Bergrath Toussaint de Charpentier in einer zu Breslau gehaltenen Vorlesung[2] umständlich entwickelt worden. Eine Widerlegung derselben verdanken wir einem gründlichen Alpenforscher, dem verstorbenen Escher von der Linth[3]. Es mag hier genügen, das Unzulässige jener Hypothese mit wenigen Gründen darzuthun:

---

1 Voy. dans les Alpes I. p. 453.

2 G. Ann. LXIII. 388.

3 G. Ann. LXIX. 114.

1. Sind jene Querspalten selbst das Erzeugniſs der Fortbewegung des Gletschers, da sie, wie eine unbestrittene Erfahrung zeigt[1], vornehmlich da sich ergeben, wo der Abhang *steiler* wird; sie sind *sehr selten* in den *flachern* Gegenden *oberhalb* des Abhanges, und die Fortschiebung der Masse an der steilern Stelle kann also nicht von dem Keildrucke des spärlichen Eises jener unbedeutenden höher liegenden Spalten bewirkt worden seyn, sondern sie ist das Resultat des Gewichtes der Masse, die, über das convexe Bord des Abhanges geschoben, nothwendig nach der Richtung dieses Standes, d. h. quer auf den Thalweg, gebrochen werden muſs. Eben deswegen müssen diese Spalten keilförmig, d. h. oberhalb weiter als unten seyn. Einige dieser Spalten sind auch zuweilen ganz durchgehend bis auf den Boden des Gebirges, zu welcher Durchbrechung die erwärmende Kraft des von der Sonne geschmolzenen Eiswassers, in welchem nach den oben unter a. entwickelten specifischen Schweren des Wassers die wärmsten Schichten die untersten sind, vieles beitragen mag[2].

2. Die Bewegung der Gletscher findet nicht im Winter, sondern in der wärmern Jahreszeit statt, wie das die öfters und zwar im Sommer angestellten Messungen, und die mit Donner ähnlichem Getöse begleiteten Erschütterungen der Gletscher in dieser Jahreszeit beweisen[3]. Allein nach Saussüre's sorgfältiger Beobachtung[4] gefriert das Wasser in jenen Spalten im Sommer höchstens einen Finger dick zu, so daſs von einer so

---

1 Auch Pater Biselx in s. Abhandl. von dem Schnee, den Lawinen und Gletschern in den Alpen. (Bibl. Univ. 1819. u. in G. Ann. LXIV. 183) bemerkt, daſs diese Spalten sich stets da finden, wo das Thal stärker sich neigt.

2 Uebereinstimmend mit der schmelzenden Kraft, durch welche das auf dem Gletscher durch die Sonne erwärmte Wasser sich unterwärts in das Eis einfriſst, und *Löcher* von einiger Tiefe bildet, deren Entstehen Rumford aus dem Niedersinken der wärmern Wassertheile befriedigend erklärt hat. G. Ann. 1800.

3 Charpentier behauptet zwar, (a. a. O. S. 400) ohne nähern Beweis, das Vorrücken der Gletscher finde im Frühjahr, *nicht im Sommer oder Herbste* statt. Wenn wir auch, mannigfachen Erfahrungen entgegen, das Letztere zugeben wollten, so wäre doch wenigstens Thauwetter dazu nothwendig. Niemand aber wird dem *aufthauenden* Eise eine so groſse Ausdehnungskraft zuschreiben.

4 Voy. T. I. Chap. VII. p. 445.

dünnen Eistafel keine Wirkung zu erwarten ist. Sollte später bei vermehrter Kälte das Wasser auch im Innern gebildet werden, so würde es mit leichterer Mühe die, bei der Erweiterung der keilförmigen Spalte nach oben leicht zu hebende, obere Eisdecke sprengen, als Lasten von vielen Millionen Pfunden auseinander treiben.

3. Wäre die Bewegung der Gletscher das Resultat einer solchen Ausdehnung des Eises im Augenblicke des Gefrierens, so müfste sie stofsweise und zwar entweder in den ersten Herbstfrösten oder zur Winterzeit erfolgen. Beides ist nicht der Fall; der Gletscher bewegt sich langsam und allmälig mit einer Geschwindigkeit, die nur nach Tagen und Wochen durch seine Annäherung an abgesteckte Zeichen bemerkbar wird; und dieses sanfte Fortrücken geschieht gleichwohl mit einer so unwiderstehlichen Macht, dafs auch feste Felsen sie nicht aufzuhalten vermögen. Ein glaubwürdiger Alpenforscher, Kuhn[1] führt hiervon ein merkwürdiges Beispiel an. Auf dem Gletscher des Mattenberges bei der Ortfluh sah er im Jahr 1779 einen mächtigen Granitblock zwischen der Seitenwand des Gletschers und einer vorspringenden Felsenecke eingeklemmt. Dieser wurde durch das weitere Vorrücken der Eismasse so geprefst, dafs er in einigen Wochen nach und nach in kleine Stücke zerbrach, von denen keines mehr einen Kubikfufs hielt.

Es gehört wahrlich ein wenig Paradoxie dazu, um die Bewegung der Gletscher von einer im Verhältnifs der zu bewegenden Masse so kleinen, vereinzelten Kraft, wie diejenige des gefrierenden Wassers in den Gletscherspalten ist, herzuleiten, und den diametralen Gegensatz der Zeiten, in welchen die vermeinte Ursache und hingegen die Wirkung statt hat, übersehen zu wollen, wenn dieser Ursache gegenüber uns eine Kraft zu Gebote steht, welche, von keinen Zufällen abhängig, stetig wirkend, und mächtig genug ist, um alle Erscheinungen im Einklange mit der Erfahrung auf eine ungezwungene Weise zu erklären. Selbst ein Laie in der Statik wird, wenn er die unleugbaren Spuren der Bewegung einer solchen ungeheuern Eismasse, ihr Zerbrechen an stärker geneigten und convexen Stellen, ihr ganz allmäliges Fortrücken wahrnimmt, und dabei die

---

1 Höpfner's Magazin f. d. Naturkunde Helvetiens. 1787. 8. T. I. S. 130.

beträchtliche Neigung der Ebene, auf welcher diese wenig cohärente Masse aufgelagert ist, betrachtet, des natürlichen Gedankens sich nicht erwehren können, dafs hier die allgemeine und allmächtige Kraft der *Schwere* thätig sey. Nehmen wir die Reibung des Eises an der Fläche des Berges, und die Summe aller localen kleineren Widerstände auch zu $\frac{1}{3}$ der Last an, so wird sich bei einer Neigung von 20 Grad gegen die Horizontallinie die Masse dennoch in Bewegung setzen. Die neuern Untersuchungen über die Wärme der Erde belehren uns . [illegible]s sie in den Tiefen beträchtlich erwärmt, und ihre Temperatur an der Oberfläche nur eine durch Ausstrahlung bewirkte, von den Sonnenstrahlen nicht in allen Klimaten hinlänglich compensirte Erkältung sey. Unter dem Gletscher ist die Erde gegen diese Ausstrahlung geschützt, und selbst eine bedeutende atmosphärische Kälte würde Eismassen von einigen hundert Fufs Dicke nicht durchdringen. Wir dürfen also annehmen, dafs die Temperatur des Bodens der Eismasse selbst im Winter nur wenig unter Null sey, und beim Eintritt der mildern Jahreszeit durch den Zutritt des Regens und der wärmern Luftströme, die durch jene Grotten unter den Gletschern hinaufsteigen, bald um so viel über den Eispunct erhoben werde, als nöthig ist, um die beiden berührenden Flächen *nafs* zu erhalten. Rechnen wir dazu die, aus dem oben angeführten Experimente mit den Felsen hervorgehende, zermalmende Kraft so ungeheurer Eislasten, so werden wir das Bette des Gletschers so ziemlich ausgeebnet annehmen müssen, so dafs eine Reibung von $\frac{1}{3}$ wohl noch zu hoch angeschlagen seyn dürfte. Da die Curve des Thalabhanges oberhalb meist stärker gekrümmt ist, als bei ihrem Auslauf, so ersetzt die steilere Senkung des Abhanges und der losere Zusammenhang der Schneemasse die Hindernisse einer stärkeren Reibung und den Mangel der nachschiebenden Masse; und so können wir uns getrauen, zur Erklärung des Fortschiebens der Gletscher mit der einfachen Wirkung der Schwere auf der geneigten Ebene auszureichen, ohne weiter der Ausdehnung des gefrierenden Wassers, noch der innern Einstürze unterhöhlter Eisgewölbe[1] zu bedürfen.

Der oben aufgestellten Ansicht zu Folge erhält also der Gletscher sein Wachsthum von dem Schnee, welcher jährlich

---

1 Nach der Meinung Eschers von der Linth. G. Ann. LXIX. 115.

in den höheren Theilen des Gebirges fällt und von den schroffen Felsenabhängen, wo er nicht festhalten kann, in die Einsenkung herabrutscht. Die der Tiefe allmälig zugleitende Masse wird noch durch Lawinen und Schneestürze oft beträchtlich vermehrt. Thauwetter, Regen und Sommerwärme befördern das Hinabgleiten des Gletschers, daher er zuweilen mehrere Jahre hindurch bedeutend ins Hauptthal hinaustritt. In warmen Sommern wird er dort beträchtlich geschmolzen, weniger in nafskalten; daher bei gleicher Fortschiebung das Hinaustreten in die Ebene (das *Vorrücken des Gletschers*) nach *nassen* Sommern stärker erscheint, als nach trockenen; auch mufs dazu die in der Höhe, eben der nassen Witterung wegen, häufigere Schneeablagerung mitwirken. Nach mehreren warmen und trockenen Sommern wird die Abschmelzung am untern Theile vermehrt, die Zunahme in den höheren Regionen, des heitern Wetters wegen, verringert, und der Gletscher *zieht sich zurück*, weil mehr geschmolzen wird, als nachkommt. An eine *Periode* dieses Vorrückens und Zurücktretens ist nicht zu denken. Oft nimmt ein Gletscher mehrere Jahre hindurch beträchtlich zu, während dem ein anderer benachbarter abnimmt[1]. Auch die *Schnelligkeit* der Fortbewegung ist sehr verschieden. Der Bosson-Gletscher im Chamounithale war vom August 1815 bis Juli 1816 um 50 Fufs vorgeschritten[2], nach Charpentier's Angabe[3] sogar in 3 Jahren 1048; oder jährlich 350 Fufs. Auch Kuhn[4] erwähnt vom Grindelwald-Gletscher, im Jahr 1773 dafs er eines Tages hart an einem Felsblocke gestanden habe; am folgenden Morgen war er auf die Mitte desselben vorgerückt, und am nämlichen Abend war der Block bereits ganz vom Eise bedeckt.

Dafs das Vorrücken der Gletscher auch in den Höhen des ewigen Schnees statt finde, davon zeugen die Unglücksfälle, welche im Frühjahr 1818 das Bagnethal in Wallis an der südlichen Grenze der Schweiz betroffen haben. Die Abstürze des hohen Getrozgletschers hatten die Thalverengung, durch wel-

1 Zahlreiche Beispiele hiervon finden sich in Biblioth. Univ. XIV. 285.

2 Bibl. Univ. 1816. Juniheft u. G. Ann. LXIV. 200.

3 G. Ann. LXIII. 409.

4 Höpfners Mag. I. 125.

che die Drance abfliefst, ausgefüllt, und das Wasser zu einem grofsen See aufgestauet, dessen plötzlicher Durchbruch durch das ganze Thal hinunter die gräfslichsten Verwüstungen anrichtete, indem in weniger als einer halben Stunde mehr als 530 Millionen Kubikfufs abflossen. Die Anhäufung dieser Gletschermasse ist nun seither durch die sinnreiche Idee des dortigen Ingenieurs Venetz, den Gletscher durch Quellwasser, das aus der Entfernung in hölzernen Rinnen auf derselben hingeleitet wurde, zu zerschneiden, mit dem besten Erfolg verhindert worden [1].

Bemerkenswerth sind auch die uralten mit Erde bedeckten Gletscher, welche Dr. Escholz auf Kotzebue's Reise auf der Nordwestküste von America entdeckte [2]. Ein Gletscher von mehr als 100 Fufs Dicke, war in seiner ganzen Länge ½ Fufs hoch mit einer Mischung aus Lehm, Sand und Erde bedeckt, auf welcher das üppigste Gras wuchs. Im Eise fanden sich viele Mammut-Knochen und Zähne. Die nämliche Wahrnehmung hatten am 21. Aug. 1596 die Gefährten von Heemskerk auf Nova Zembla gemacht. Sie bestiegen einen Eisberg von 60 Fufs Höhe über dem Wasser, der oben mit Erde bedeckt war, wo sie an 40 Eier fanden [3].

2. Eisberge im Meere.

Montagnes de glace; *Ice-bergs.* Schwimmende Eismassen, Eisfelder; Champs de glace; *Fields Floes.* Meereis, Treibeis, Polareis; Ballots de glace; *Loose ice.* Alle diese Benennungen machen nur einen geringen Theil der besondern Namen aus, mit welchen die Seefahrer die verschiedenen Arten von Eis bezeichnen, die ihnen oft hinderlich, bisweilen Gefahr und Verderben bringend sind. Sie lassen sich hauptsächlich unter drei Classen bringen: *Eisfelder; Treibeis; Eisberge.* Die *Erstern* bilden zusammenhängende Ebenen von geringerer Höhe über dem Wasser,

---

1 S. Bibl. Univers. XXV. 240.

2 Entdeckungsreise in die Südsee und nach der Behringstrafse. 1821. 4. 8. 146.

3 „Ce banc de glace étoit couvert de terre sur le haut." Recueil des Voy. T. I. pag. 75.

aber von solcher Ausdehnung, daſs sie selbst von der obersten Höhe des Mastes sich nicht absehen läſst. Das *zweite* bezeichnet loses, offenes Eis, Trümmer eines Eisfeldes, zwischen welchen man hindurch segeln kann. *Eisberge* endlich sind Eismassen von ungeheurer Höhe und Gröſse; welche bald schwimmend, bald fest in den Polar-Meeren angetroffen werden.

Gefrieren des Meeres. Die nur von Wenigen in Zweifel gezogene Thatsache, *daſs das Meereis beim Schmelzen süſses Wasser liefere*[1], brachte verschiedene Physiker auf die Meinung, „daſs das Eis nur an den Küsten, am Abhange der Inseln und Continente, und an den Mündungen der Flüsse sich bilde, weil *salziges Wasser nur salziges Eis* liefern könne [2].“ Allein die Verwandlung, welche im Augenblick des Gefrierens mit dem Wasser überhaupt vor sich geht, ist zu bedeutend, als daſs nicht, eben so wie bei der Dampfbildung, seine Verbindung mit einem fremden Stoffe dadurch merklich gestört und verändert werden sollte; und die Anziehung, die beide Stoffe auf einander haben, kann höchstens die Trennung derselben verzögern, so daſs Salzwasser, je nach Maſsgabe seiner Dichtigkeit, bei einer gröſsern Kälte gefriert, als reines Wasser. Dann zumal aber wird, wie das auch bei der Krystallisation anderer flüssigen Mischungen der Fall ist, der fremde Stoff ausgeschieden, und was gefriert, ist nur Wasser allein. Nur bei groſser Kälte, und (etwa beim künstlichen Versuche) in abgesonderten geringen Portionen, wenn die Erkältung schnell von allen Sei-

---

1 Für diesen Satz sprechen zahlreiche Erfahrungen aus verschiedenen Zeiten: Schon Frobisher fand (1578) 100 Meilen weit vom Lande Eis, welches geschmolzen süſses Wasser lieferte. S. Reinhold Forster's Gesch. der Schifffahrten in Norden 1748. 8. S 326. John Davis (1585) lud ein ganzes Boot voll, das ein gutes Trinkwasser gab. (Forster S. 345). Eben dieses that Weimouth im Jahre 1594. (Ebend. S. 362). Späterhin noch mehrere. Unter den Neuern bediente sich dieses Hülfsmittels Cook auf seiner Reise nach dem Südpol (1773) A Voy. towards the Southpole; 3 Ed. 4. T. I. p. 37) der dafür unverdient von Sir John Pringle als der erste Erfinder desselben gepriesen wurde; und Ross. (Voy. to the Baffinsbay. p. 48.)

2 Büffon, (Hist. nat. ed. in 12. T. I. p. 313. T. II. 91). Lomonossof (Schwed. Abhandl. Bd. XXV.) und Cranz (Hist. v. Grönland T. I. 38 und 42). In neuern Zeiten auf Versuche gestützt, Dr. Higgins (Probability of reaching the Northpole. Suppl. p. 121) und Parrot (Physik. II. S. 71 und III. 369. u. 6. Ann. LVII. 144).

ten wirkt, gefriert das Salzwasser zu einem porösen, undurchsichtigen Eise von grünlicher Farbe [1] und etwa 0,7 specif. Gewicht. Das auf der Oberfläche des Meeres sich bildende Eis ist hingegen schön, dicht und durchsichtig, gerade wie das gewöhnliche reine Süſswassereis, und wie die Erfahrung gelehrt hat, frei von Salzgeschmack. Es ist hart und brüchig, und springt in scharfkantige Stücke; es ist nur um $\frac{1}{30}$ leichter als Seewasser in der Temperatur des Frostpunctes; in süſsem Wasser ragt $\frac{1}{16}$ desselben über der Oberfläche empor.

Dem Gefrieren oft vorangehend, für den Seefahrer höchst verdrüſslich und selbst gefährlich, ist ein Phänomen, das auch oft auf Flüssen, seltener auf stehenden Wassern sich zeigt, der *Frostdampf*. Diese Art von Nebel, die den höhern Breiten eigen ist, scheint, wie die sichtbare Verdunstung des Wassers, wenn es durch künstliche Mittel erhitzt wird, aus der gröſsern Wärme des Wassers im Verhältniſs zur umgebenden Luft zu entstehen. Das Meer ist bei dieser Erscheinung gemeiniglich um 10 bis 14° R. wärmer als die Luft; es entsteht daher eine beträchtliche und gröſsere Verdunstung, als die Capacität der Luft für die Dünste mit sich brächte, und der Wasserdampf wird *verdichtet*. Der dickste Frostdampf wird nur bei *heftigem Winde* wahrgenommen, und nimmt, bei gleicher Temperatur und Feuchtigkeit der Luft mit der Bewegung des Meeres zu. Eben so ist er auch stärker über *bewegtem*, strömendem, als über stehendem Wasser. Auf dem Meere bildet er bei unruhiger See eine dicke Nebelschicht von 80 bis 100 Fuſs Höhe, welche sich an das Tauwerk der Schiffe und alle Hervorragungen eben so ansetzt, wie unser Reif. Er ist häufiger bei wolkenlosem Himmel und trockener Witterung, als bei feuchter, und bedecktem Himmel. Während dem er unten eine höchst beschwerliche und (da er immer in Begleitung eines starken Windes erscheint) auch gefährliche Finsterniſs verbreitet, so kann man von der Höhe des Mars aus Schiffe in einer Entfernung

1 Wenn Parrot (G. Ann. LVII. 146) das geringe Quantum von 12 Unzen Salzwasser eine ganze Nacht hindurch einer Kälte von — 6 bis — 9° R. aussetzte, so ist dieses wohl keine *mäſsige* Kälte (S. 157) zu nennen, da sie den Gefrierpunct der Soole um mehrere Grade übertrifft, und an eine Ausscheidung des Salzes ist freilich bei einer so totalen Erkältung nicht zu denken. Bei seinen übrigen Versuchen war die Kälte gar — 13, — 17 und — 24° R.

von 5 bis 6 Seemeilen, und ein hohes Land auf 10 bis 15 Stunden weit erkennen[1]. Nach MITCHILL[2] muſs das Salzwasser $11\frac{1}{4}°$ R. wärmer seyn, als die Luft, um *sichtbare* Dämpfe auszustoſsen, da hingegen Regenwasser dazu nur einen Ueberfluſs von $8\frac{1}{2}°$ R. bedarf.

Eisfelder. Die Natur, auf dem Meere überall groſs in ihren Wirkungen, verfährt in der Bildung dieser Eismassen nach einem so ungeheuern Maſsstabe, daſs alle Vorstellungen, die wir vom beengten Festlande dorthin übertragen, gegen die Wirklichkeit in Nichts verschwinden. Die Eisfelder haben nach SCORESBY[3] gewöhnlich nur etwa 4 bis 6 Fuſs Höhe über dem Wasser und gegen 20 Fuſs Tiefe unter demselben, sind aber manchmal gegen 100 nautische Meilen (25 deutsche) lang und 50 breit.[4]. Zuweilen sind sie am Lande fest; häufig aber treiben sie in freier See herum. Ungeheure Eisfelder machten seit Jahrhunderten die Ostküste von Grönland unzugänglich. Nach SCORESBY kommen sie von Norden her, und haben ihren Ursprung zwischen Spitzbergen und dem Pole. Die Anhängung an das Land oder der Schutz der Küste ist, wie eben dieser Schriftsteller behauptet, zum Gefrieren der See gar nicht nothwendig; er sah das Eis auf 20 Stunden weit von Spitzbergen sich bilden. Selbst die Wellen vermögen sein Entstehen nicht zu hindern. Erst erzeugen sich kleine Krystalle, deren Menge das Wasser in eine Art *Schlamm* zu verwandeln scheint, als wenn es mit Schnee vermischt wäre. Gleich Oel macht dieses die krause Fläche des Wassers glatt. Die Krystalle vereinigen sich dann zu Scheiben, die aber der beständigen Bewegung wegen nicht über 3 Zolle Durchmesser erhalten können; allmälig werden diese dicker, und in eben dem Maſse können sie auch zu ausgedehnten Flächen sich vereinigen. Reibung und Wellenschlag rundet sie ab, und giebt ihnen einen aufstehenden scharfen Rand; daher ihnen der Witz der Seeleute der Namen *Pfann-*

1 Siehe hierüber Scoresby Voy. to the Northern Whalefishery. Deutsch. Ubers. S. 53.

2 Medical Repository. Vol. IV. übers. in Albers american. Ann. d. Arzneikunde, Naturgesch. Chemie und Physik. Bremen 1802. 8. Heft I. S. 105. G. Ann. XI. 74.

3 Ann. de Ch. et Phys. 1817 und G. Ann. LXII. p. 4.

4 Eben diese Gröſse giebt auch CRANZ an; Hist. v. Grönland. T. I. S. 42.

kuchen (pancakes) ertheilt hat. Die größern dieser *Pancakes* haben jedoch über 1 Fuſs Dicke und mehrere Klafter Umfang.

Ist die See ruhig, so bildet sich eine zusammenhängende Eisdecke, die von unten her immer dicker wird. Während 24 Stunden scharfen Frostes kann die Eisdecke 2 bis 3 Zoll dick [1], und in weniger als 48 Stunden stark genug werden, einen Mann zu tragen. In geschützten Lagen kann ein solches Eis in Zeit von einem Monat 1 Fuſs dick werden, woraus sich abnehmen läſst, daſs in einer Reihe von Jahren die dicksten Eisfelder auch nur auf diesem Wege sich bilden können. Sie werden aber auch durch Zuwachs von Oben vergröſsert. Während der neun Monate anhaltenden Frostes jener Gegenden fällt 2 bis 3 Fuſs hoch Schnee, welcher dann beim Thauwetter im Juni und Juli mit Schneewasser durchzogen, im September wieder zufriert; und so wird im Laufe der Jahre eine Masse gebildet, deren Ausdehnung und Höhe allen Elementen trotzen könnte, wenn die Natur nicht durch einfache und stillwirkende Mittel sich ihrer zu entledigen wüſste.

Einige Eisfelder sind so eben, ohne Spalten oder Höhlen, daſs ein Wagen ohne Anstoſs viele Meilen weit gerade aus über sie hinfahren könnte. Doch finden sich auf den meisten oft beträchtliche *Erhöhungen* (*Hummocks*), die entweder von übergeschobenen groſsen Eisstücken oder zusammengeweheten Schnee herrühren, und durch wunderbare Gestalten und den Glanz ihres durchscheinenden Grüns das Auge ergötzen.

Treibeis. Jene ungeheuren Eismassen, deren Anhäufung eine immer mehr sich ausbreitende Erkältung hervorbringen müſste, werden durch südwestliche Strömungen den wärmern Klimaten zugeführt, die selbst bei Windstillen und gegen den Wind so wirksam sind, daſs jene Massen in Monatsfrist auf 100 Seemeilen (25 geographische) fortschwimmen, was eine Geschwindigkeit von 2¼ Fuſs in der Secunde giebt, groſs genug, um mit einer so furchtbaren Last multiplicirt, eine unwiderstehliche Kraft zu bilden. Stürme und Wellenschlag zerbrechen

1 Barenz fand auf seiner dritten Reise nach Norden 1595, daſs das Meer schon im September in einer Nacht zwei Finger dick fror. Recueil des Voy. qui ont servi à l'établissement de la Comp. des Indes Orient. T. I. p. 82.

sie in kleinere Eisfelder und Treibeis, und gewähren der schmelzenden Kraft der wärmern Gewässer bessern Zugang. Die im hohen Norden entstandene Leere der Meeres-Oberfläche wird bald wieder mit neuen Erzeugnissen des Frostes ausgefüllt; und es kommen an die Stelle der zerstörten Eisfelder neue herab, zuweilen weiſse Bären, die einzigen Bewohner jener erstarrten Gegenden, entführend.

Winde, Ungleichheit der Strömung und der Anstoſs anderer Massen bringen nicht selten den Eisfeldern eine *drehende* Bewegung bei, vermittelst welcher ihr Stand einen Raum von mehreren Seemeilen in einer Stunde (5 bis 8 Fuſs in der Secunde) durchläuft. Kömmt ein solches Eisfeld mit einem ruhenden, oder gar mit einem in Berührung, das nach entgegengesetzter Richtung sich dreht, so giebt das einen Stoſs, der bei Massen von 30 Quadratseemeilen Oberfläche und 13 Fuſs Dicke, also etwa 200000 Centner Gewicht, ein fürchterliches Schauspiel darbietet. Das schwächere Feld wird unter heftigem Krachen zermalmt; manchmal zertrümmern sich beide, und nicht selten schieben sich dabei Stücke von ungeheurer Gröſse so über einander, daſs sie 20 bis 30 Fuſs über dem Wasser hinausragen. Wehe dem Schiffe, das etwa im Nebel oder bei Windstillen zwischen solche Eisfelder geräth; es wird zerquetscht, oder wenigstens sehr beschädigt, zuweilen auch auf das Eis hinaufgeschoben; Unglücksfälle dieser Art sind gar nichts seltenes[1]. Die Wallfischfänger sind genöthigt, zur Verfolgung ihrer Beute sich zwischen das Treibeis zu wagen; oft auch bietet ein enger Canal zwischen schwimmenden Eismassen den einzig möglichen, aber zweifelhaften Ausweg dar, um einer gänzlichen Einschlieſsung des Schiffes, die unfehlbar zum Ueberwintern nöthigen würde, zu entgehen.

Eisberge. Diese sind, wenn auch an Volumen und Ausdehnung geringer als die Eisfelder und manche treibende Eismasse dieser Art, durch ihre Aufthürmung auffallender und gewähren einen erstaunenswürdigen, erhabenen Anblick. Ihre beträchtliche Erhebung über dem Wasser läſst auf eine etwa

---

1 Scoresby im J. 1804 und 1813. (Account of the arctic regions. G. Ann. LXII. 16) Capt. Ross im J. 1818. Voy. to the Baffinsbay. p. 61 und 76. Im J. 1777 gingen 5 holländische Schiffe auf diese Weise zu Grunde.

8 oder 9 mal grössere Einsenkung in die Tiefe schliessen, so dass ihre ganze Höhe zuweilen bis auf tausend Fuss gehen kann. Sie scheinen in der Nordsee weniger zahlreich als in der Baffinsbay zu seyn, was auf ihre Entstehung am Lande hinzuweisen scheint. Der grösste Eisberg, den Scoresby an der Küste Grönlands sah, hatte etwa 3000 Fuss im Umfange, eine viereckige Gestalt, eine regelmässige Oberfläche, die etwa 20 Fuss über den Wasserspiegel erhoben war, und bestand aus der dichtesten Art von Eis; er mochte noch etwa 160 Fuss unter die Wasserfläche herabgehen, und ungefähr 2 Millionen Tonnen (jede zu 20 Centner) wiegen. In der Davisstrasse hingegen fanden sich zuweilen Massen von 12000 Fuss Länge, 4000 Fuss breit mit Berggipfeln und Hörnern von mehr als 100 Fuss Höhe, die also auf eine Tiefe von 500 Fuss unter der Wasserfläche sich erstrecken musste, ja selbst ebene Massen von 180000 Quadratfuss Oberfläche und 150 Fuss sichtbarer Höhe, welche in 90 bis 100 Klafter tiefem Wasser auf den Grund liefen und deren Gewicht mehr als 2000 Millionen Tonnen betragen musste. Auch Weddell auf seiner Reise nach dem Südpole in den J. 1822, 23 und 24 traf auf Eismassen von 2 Meilen Länge und 250 Fuss Höhe über der Wasserfläche. Ihre Menge ist nicht weniger erstaunenswürdig, als ihre Höhe. Cook fand am 23. Dec. 1773 im südlichen Eismeere 186 solche Eismassen um sich her, deren keine geringer als das Schiff war [1], und Ross zählte am 10. Juny 1818 in der Baffinsbay in 70° N. Br. nur auf der einen Seite des Horizonts an 700 Eisberge [2].

Von beiden Polen her werden diese Eismassen, Eisfelder sowohl als Eisberge, der gemässigten Zone zugeführt. In 52° südlicher Breite am 12. Dec. 1772 traf Cook auf einen schwimmenden Eisberg von 2 Seemeilen im Umfange und 60 Fuss Höhe. Dennoch brach sich die stürmische See über ihn hin [3]. Frézier begegnete am 13. März 1714 in 58° südl. Breite und 68. W. Länge einer Eismasse von ein paar tausend Fuss Länge und wenigstens 200 Fuss Höhe [4]. Im nördlichen Atlantischen Meere

1 Forster's Bemerk. auf der Reise um d. Welt gesammelt S. 60.
2 Voy. pag. 48.
3 Voy. to the South pole. T. I. p. 23.
4 plus de trois encablures de long. Relation du Voy. de la Mer du Sud. aux côtes du Chily et du Perou. Paris 1716. 4. pag. 260.

sah Capt. Beaufort Eisberge in 46° N. Br.; Lt. Parry trieb noch am 4. Oct. in 44° Breite südlich von Neufundland 3 Tage in Grönländischem Treibeise, und das Packetboot von Halifax traf mehrere ausgedehnte Eisinseln in 42° Breite, deren einige 200 bis 250 Fuſs Höhe zu haben schienen. Am 19. Januar 1818 wurde die Brigg Anna bei ihrer Abfahrt von Neufundland (im 47° N. B. ganz vom Treibeise besetzt, so daſs selbst von der Spitze des Mastes keine Oeffnung zu erblicken war. Sie trieb mit dem Eise 15 Tage lang 60 Seemeilen in südöstlicher Richtung; die Eismassen wurden nun mächtiger, indem sie etwa 14 Fuſs aus dem Wasser hervorragten; und unter ihnen befanden sich mehr als 20 höhere Eisberge. Erst in 44° 37′ N. B. und über 300 Meilen östlich vom Lande fand sich endlich am 17. Febr. eine einzige Oeffnung in der unabsehbaren Umkreisung von Eise, durch die man der 29 tägigen gefahrvollen Gefangenschaft entrinnen konnte [1].

Die Seefahrer sprechen mit Lebhaftigkeit von den seltsamen Gestalten, unter welchen diese ungeheuren schwimmenden Eisblöcke zuweilen als gigantische Werke der Kunst sich darstellen. Kolossale Abbildungen menschlicher Figuren, Eisbären auf 30 Fuſs hohen Fuſsgestellen; Löwenköpfe, Büsten, antike Tische, hohe Thore und Eishallen, Thürme und Pyramiden erscheinen hie und da mit solcher Bestimmtheit, daſs es keineswegs einer fruchtbaren Einbildungskraft bedarf, um sie dafür zu erkennen [2].

Allein, während dem das Auge an diesen kolossalen Spielen der Natur sich ergötzt, wird das Gemüth von Schauer durchdrungen, wenn man die Gefahr bedenkt, welche die Nähe so ungeheurer zerbrechlicher Massen, die nur auf dem Fundament des trüglichen Gewässers ruhen, dem Seefahrer bringen kann. Ein Hinderniſs, das sie beim Forttreiben unter dem Wasser

---

1 Alle diese Beispiele nebst noch Andern finden sich im Quarterly Rewiew in einer Recension von Burney's Abhandlung über die Geographie des Nordöstlichen Asiens in den Philos. Trans. for 1818, die den Beförderer der neuesten Nördlichen Expeditionen, Barrow, zum Verfasser hat. Versinnlichende Zeichnungen von Eisbergen finden sich in den Kupfern zu Ross Reise, auch zu Scoresby's angegebenen Werken. Vergl. Manby Journal of a Voyage to Greenland. 2. ed. London 1823. 8.

2 Scoresby Tageb. und Reise auf den Wallfischfang. S. 107.

antreffen, der Anstofs an einem andern Eisgebirge, das Abbrechen eines überhangenden Theils reicht hin, um sie aus dem Gleichgewichte zu bringen, und mit donnerndem Getöse umzustürzen. Schon viele Schiffe sind, durch abstürzende Eismassen zerschmettert, und die Boote vom Strudel in den Grund gerissen worden [1]. Zuweilen kann irgend eine Erschütterung, das Einhauen mit der Axt, ein solches Gebirge zerspalten und einstürzen machen [2].

Schon oben wurde aus der Seltenheit der Eisberge an der Grönländischen Küste und ihrer grofsen Anzahl in der Baffinsbay auf ihre Abstammung von der Küste geschlossen. Noch wahrscheinlicher wird dieses durch den Umstand, dafs man, wie auf den Gletschern des Festlandes, auf den schwimmenden Eismassen Sand und Steine antraf. Schon Lucas Fox auf seiner Reise nach der Hudsonsbay 1631, sah auf einem Eisberge einen Felsblock liegen, den er auf 120 Centner an Gewicht schätzte [3]. Aehnliches berichten auch spätere Seefahrer [4]. Hierdurch gewinnt die Vermuthung, dafs die eigentlichen Eisberge wirkliche, aus den Quer-Thälern der 2000 bis 4000 Fufs hohen Gebirge hervorgetriebene, Gletschermassen, mithin nicht Meereis, wie die Eisfelder, sondern ein Erzeugnifs von Schnee und Regenwasser seyen, eine grofse Wahrscheinlichkeit. Doch äufsern sich Scoresby [5] und auch R. Forster [6] dahin, dafs der gröfsere Theil der Eisberge in den geschützten Buchten der Küstenländer aus sogenanntem *Bay-Eis* gebildet, dann durch Regen und Schnee vergröfsert, nach Jahren hinausgetrieben, und durch Stürme über einander geschichtet, zu so hohen Massen aufgethürmt werden. Scoresby glaubt, dafs so wie in den

1 So das holländische Schiff Wilhelmine im J. 1777 S. auch Forster's Bemerk. auf s. Reise um die Welt S. 64. u. s. Gesch. der Schifffahrten im Norden. S. 365.

2 Scoresby a. a. O. G. Ann. LXII. 25. und dasjenige was Ross S. 78. s. R. erzählt. Cranz Hist. v. Grönland I. 35.

3 R. Forster in einem Briefe an Höpfner, den Herausgeber des Magazins f. d. Naturkunde Helvetiens. T. II. 276.

4 Auch Weddell auf s. Reise nach dem Südpol in den J. 1822—24. fand in 68° südl. Br. eine Eisinsel, von welcher ein Theil mit schwarzer Erde bedeckt war, so dafs man sie anfänglich für einen Felsen hielt. Bibl. univ. XXXI. 200.

5 A. a. O. S. 34.

6 Gesch. d. Schifffahrten im Norden S. 455.

zahllosen Buchten der Baffinsbay, so auch an der Ostküste von Spitzbergen der Stammort dieser jährlich in so ungeheurer Menge nach Süden geförderter Eisbildungen sey, und dafs wahrscheinlich nahe am Pole ein Festland von Eisbergen sich befinde, dessen Kern vielleicht so alt als der Erdball selbst ist, und das sich alljährlich vergröfsert [1].

Der Eisblink; *Ice-blink.*

So oft man sich einem gröfsern oder kleinern Eisfelde nähert, bemerkt man bei ziemlich wolkenlosem Horizonte, oft auch sogar bei dichtem Gewölke, einen Streif von glänzend weifser Farbe am Horizonte. Dieses Eisblinken ist der sichere Verkündiger herannahender Eisfelder. Die, zumal bei hellem Wetter meist sehr starke Strahlenbrechung scheint hierbei eine wesentliche Rolle zu spielen. Unter recht günstigen Umständen stellt der Eisblink dem Auge eine vollständige Charte von dem Eise und dem darin vorhandenen offenen Wasser auf 20 bis 30 See-Meilen rund umher dar, so dafs der Kenner füglich die Gestalt und muthmafsliche Gröfse aller gröfsern und kleinern Eisfelder innerhalb dieser Grenze bestimmen, und dichtes oder lockeres Treibeis an dem dunklern und weniger gelben Schein unterscheiden kann, während jede Wasserader und jeder See durch ein tiefes Blau oder einen schwarzblauen Fleck [2] mitten im Eisblink das offenere Wasser zu erkennen giebt [3]. Ein Eisfeld bringt den hellsten Eisblink mit einem Anstrich von Gelb hervor; Treibeis von grofser Ausdehnung giebt sich durch ein reineres Weifs, und neu entstandenes Eis durch ein graulichtes Licht zu erkennen. Auch Land, welches mit Schnee bedeckt

---

1 Vor etwa 20 Jahren wurde in Folge von *Peron's* voreiliger Annahme, dafs *die Tiefe des Meeres mit ewigem Eise bedeckt sey*, die Entstehung der Eisberge gar einfach mit dem Ausspruche erklärt: „Es sind Eismassen, die sich vom Boden des Meeres abgelöst haben, und zur Oberfläche empor geschwommen sind." Heutzutage, da man eben so eilfertig aus der, mit der Tiefe zunehmenden, Erwärmung des *äufsern* Theils der Erdrinde, uns wieder an die alte Lehre vom Centralfeuer verwiesen hat, dürfte diese Hypothese von ihren Urhebern schwerlich wieder anerkannt werden. S. den Bericht üb. Peron's Reise im Journ. de Phys. T. LIX. 361 u. G. Ann. XIX. 445. nebst Leop. von Buch's Bemerkungen hierüber. Ebend. T. XX. 341.

2 A Water-sky nach Parry.

3 S. Scoresbys Beobachtung v. 7. July. 1822. Tagebuch. S. 104.

ist, verursacht einen Eisblink, der jedoch gelber erscheint als der von Eisfeldern. Die ganze Erscheinung ist wahrscheinlich das Product einer ungewöhnlichen Strahlenbrechung, welche durch die verschiedene Temperatur der über dem Schnee- und den Wasserflächen befindlichen Luftschichten hervorgebracht wird, und die bei hellem Wetter in den Polargegenden so häufig vorkommt.

3. Eisgrotten, Eishöhlen; glacières naturelles.

Natürliche Höhlungen in den Gebirgen, in welchen das Eis sich das ganze Jahr hindurch erhält. Sie befinden sich gemeiniglich in Kalkgebirgen und scheinen folgende Eigenschaften als Bedingungen dieser Eiskälte zu enthalten: 1. Eine hohe Lage, 2. Eine beträchtliche Abtiefnng im Innern des Gebirges. 3. Abwesenheit alles Luftzuges im Innern. 4. Schutz gegen warme und feuchte Winde; Oeffnung der Höhle nach Nord und Ost. Die erste dieser Bedingungen, die allen, mit Ausnahme der Höhle von Besançon, bisher bekannten Eisgrotten der gemäfsigten Zone gemein ist, giebt uns die Hauptursache der *Eisbildung* in diesen Höhlen an die Hand, nämlich eine geringe Erhebung der mittleren Jahreswärme über den Nullpunct. In Folge derselben wird in der kühleren Hälfte des Jahres mehr Eis gebildet als die wärmere Zeit zu schmelzen vermag, und die Frostkälte ist vorherrschend. Die zweite Bedingung hingegen ist zu *Erhaltung* des gebildeten Eises unerläfslich. Da nämlich warme Luftströme nur aufwärts steigen, die kalten sich herabsenken, so bleibt die kalte Luft, welche zur Winterszeit in die Höhle drang, immer in der Tiefe der Einsenkung, während dem die warmen Luftströme des Sommers nicht hinabsteigen können. *Die Eishöhle von Besançon*[1] hat eine Senkung von 31 Toisen vom Eingange bis zum Eise, das dort von einem Dache von 24 Toisen Dicke bedeckt ist. Cossigny fand daselbst im August und October 1743 das Thermometer im Grunde der Höhle nur $\frac{1}{2}$° R. über Null. Bei einem andern Besuche den 22. April 1745 war es am Morgen um 5 Uhr auf dem Eispuncte; um Mittag nur 1° über demselben. Die Eishöhle von *St. George*[2] 281 Toisen über dem Genfersee ist

1 De Lüc in den Ann. de Chim. XXI. 215. und Pictet in der Bibl. Univ. XX. 263.

2 Ebend. S. 121.

in ziemlich jähem Absturze[1] 25 Fuſs tief. Die Eismasse hatte, als Pictet am 7. Juli 1822 sie besuchte, 75 Fuſs Länge, bei einer mittleren Breite von 40 Fuſs; sie ist mit steilen Wänden umgeben, die auf eine merkliche Tiefe schlieſsen lassen. In der Mitte der Höhle, 2 Fuſs über dem Eise, stand das Thermometer auf + 1° R. In der Eishöhle auf dem Berge Vergi[2], 462 Toisen über dem Genfersee, ist die Einsenkung weniger tief, doch ist der Boden immer hinabwärts geneigt; die horizontale Eismasse hat 70 F. Breite und 30 Fuſs Länge. Am 17. Juli 1822 fand Pictet 1 Fuſs über dem Eise die Temperatur + 1°,2 R. Die Eisgrotte von *Fondeurle*[3] ist 200 Fuſs tief. Das sogenannte *Schafloch* am Rothhorn im Canton Bern[4], 3700 Fuſs über dem Thunersee ist ebenfalls ziemlich steil absteigend. Dufour fand im obern Theile desselben 1 Fuſs über dem Boden die Temperatur + 2¼° R. bei einer äuſsern Luftwärme von 18 bis 20°. In diesen Höhlen, deren Eingang meistens beträchtlich verengt ist, bemerkt man *keine Spur von Luftzug*[5]. Ihre Tiefe ist mit compactem Eise ausgefüllt; und nur am Eingange der weniger eingesenkten Höhle auf Vergi befand sich einmal etwa 2 Fuſs unterhalb desselben einiges Wasser, das aber 0° Temperatur hatte. Die Oeffnungen aller dieser Höhlen sind den kältesten und trockensten Winden ausgesetzt, indem sie in der Regel gegen Nord oder Ost ausgehen[6]. Daſs übrigens die Erkältung nur von atmosphärischen Einwirkungen, nicht von einer innern Kälte des Gebirges herrühre, erweist sich auch durch die Temperatur einer Quelle die nur auf Schuſsweite von der Grotte von St. George aus einer senkrechten Felswand herausspringt. Pictet fand sie + 8°,5 R. was der mittlern Wärme des Berges in jener Höhe entspricht. Pictet[7] leitet die Eisbildung in diesen Grotten von Luftströmen her, welche durch Verdunstung erkältet werden; und bringt diese Erscheinung mit den Kellern am Monte testaceo bei Rom, denen auf Ischia bei St. Marino, bei

1 Man steigt auf Leitern hinunter.

2 Pictet Bibl. Univ. XX. 272. Deluc a. a. O. S. 123.

3 Ebend. 125.

4 Ebend. XXI. 113.

5 Siehe das bestimmtere Zeugniſs von Colladon u. Pictet. Ann. de Ch. et Phys. XXI. 122. 124.

6 De Lüc a. a. O. S. 120. u. Dufour a. a. O. S. 115.

7 Bibl. Univ. XX. 278.

Terni, bei Chiavenna, in Hergiswyl und bei Lugano in Verbindung, in welchen aus Löchern im Berge eine Luft herausströmt, deren Temperatur in den südlichern Italienischen Gegenden 5½ bis 6° R., in denen von Lugano und Hergiswyl in der Schweiz 3 bis 4° R. ist[1]. Er findet es sogar wahrscheinlich, dafs die Eisbildung in den Eishöhlen im Sommer stärker sey als im Winter, weil in der wärmern Jahreszeit wegen der gröfsern Ungleichheit der Temperaturen jene Luftströme lebhafter seyen, und vergleicht ihr Auf- und Niedersteigen durch (vorausgesetzte) verticale Höhlungen und Spalten im Innern des Berges mit dem Luftstrome, der im Sommer im Schacht eines Bergwerkes niedergehend, und beim Stollen ausströmend ist, weil die kühlere Luftsäule im Schachte schwerer ist als die äufsere, da hingegen im Winter das Umgekehrte statt findet. Diese verticalen Luftströme nun, indem sie durch die feuchten Spalten des Berges ziehen, werden durch die Verdunstung jener Feuchtigkeit so sehr erkältet, dafs sie nach Pictet im Innern des Berges sogar Eis erzeugen können. Allein Saussüre, welchem wir die sämmtlichen Beobachtungen über die Temperatur jener Bergkeller zu verdanken haben, hat durch Versuche gezeigt, dafs jene Verdunstungskälte nur etwa 3° R. betrage. Sie reicht daher gerade hin, um die Erniedrigung jener Luftströme unter die mittlere Wärme des Ortes zu erklären, aber nicht um Frostkälte hervorzubringen, oder gar jene 60° Wärme, deren Entfernung dem Gefrieren vorangehen mufs, zu absorbiren. Eigentliche kalte Luftströme, die aus Löchern aus dem Berge herauskommen, fand Pictet nur in der Nähe der Eisgrotte auf dem Brezon; jedoch nicht in der Höhle selbst. Pictet's Behauptung, dafs das Eis in diesen Höhlen mehr im Sommer als im Winter sich bilde, verdient allerdings, so paradox sie auch klingen mag, die Beobachtung der Naturforscher, da sie mit der allgemeinern Meinung der Landleute in der Umgegend übereinstimmt; wenigstens könnte dieses bei der einen oder andern Höhle der Fall seyn. Die Beobachtung einiger Bauern, welche die Eishöhle von Vergi gegen Ende Octobers, Novembers und Decembers besuchten, und des Eises immer weniger, im December sogar Wasser statt Eis fanden, scheint dieses zu bestätigen[2].

1 Saussüre Voy. dans les Alpes. T. II. §. 1404—1415.

2 Bibl. Univ. XXV. 243.

Doch dürfte es zu gewagt seyn, das Nämliche von allen diesen Grotten zu behaupten. Fortgesetzte Beobachtungen, selbst nur wie De-Luc anräth, Versuche an einer wohl eingerichteten künstlichen Eisgrube würden uns über diesen Gegenstand zu Aufschlüssen führen, die wir auf dem Wege der zufälligen Wahrnehmung nur langsam zu erhalten hoffen können.

4. Eisgruben; glacières artificielles; *Ice-house.*

Ein verschlossener Ort zur Aufbewahrung des Eises. Die Bedingungen, welche die Entstehung natürlicher Eisgruben begünstigen, sind auch gerade diejenigen, welche bei künstlichen Anlagen dieser Art in Acht genommen werden müssen. Eine erhöhete Lage, z. B. in einem Hügel, Trockenheit, Ausschliefsung alles Luftzuges, Vertiefung im Innern; verlängerter Zugang, Krümmung desselben und Verschliefsung durch zwei oder mehrere Thüren; Abzug für das Schmelzwasser, endlich Bekleidung des Bodens und der Wände mit schlechten Wärmeleitern, mit Stroh, Bast, Schilf. Man füllt diese Gruben des Winters mit Eis oder Schnee, den man in denselben feststampft. Sie dienen nicht nur zur Erhaltung eines schätzbaren Erfrischungsmittels, sondern sie sind auch zur Aufbewahrung von Speisen in der Haushaltung von wesentlichem Nutzen. Der Gebrauch, das Eis im Boden aufzubewahren, ist übrigens schon sehr alt.

o. Eisbildung bei einer äufsern Temperatur über Null.

Künstliche Eisbereitung. 1. Durch Ausstrahlung der Wärme.

Ein Beispiel dieser Art von Eisbereitung findet sich in dem Verfahren, welches in Bengalen, wo es sonst niemals friert, angewandt wird, um Eis zu erzeugen. Es haben zwar berühmte Physiker der neuesten Zeit Thomson, Young, Davy, Leslie u. m. jene Eisbildung einer Verdunstungskälte zugeschrieben, allein Wells[1] hat gezeigt, dafs sie von den nämlichen Ursachen abhänge, durch welche die Erscheinung des Thauens begünstigt wird. Das Verfahren selbst, so wie es von einem dortigen Eisfabricanten Sir Robert Barker[2], und später von Wil-

1 Essay on Dew. S. 261.
2 Philos. Trans. Nr. 65.

LIAMS[1] beschrieben wurde, besteht kürzlich in Folgendem: Auf einem offenen, ebenen Felde von etwa vier Morgen Landes werden quadratische Plätze von 4 bis 5 Fuſs Seite, etwa 1 Fuſs tief ausgegraben und mit dürrem Zuckerrohre oder den Stengeln von Indischem Korn so hoch ausgefüllt, daſs nur ein kleiner Erdwall von etwa 4 Zoll Höhe übrig bleibt. Auf dieses Lager werden reihenweise kleine unglasirte irdene Becken, von $\frac{1}{4}$ Zoll Dicke und $\frac{1}{4}$ Zoll Tiefe hingelegt, und mit *gekochtem weichem* Wasser vollgefüllt[2]. Am frühen Morgen wird das Eis eingesammelt, und in die Eisgruben gebracht[3]. Die Beschreibung von WILLIAMS enthält noch folgende thermometrische Angaben. Am Morgen zwischen 5 und 6 Uhr zeigte ein, das Strohlager zwischen den Becken berührendes, Thermometer nie weniger als 35° F. (+ 1°, 3 R.) und es fand sich sogar Eis in den Becken, wenn es auf 42° F. (+ 4°,5 R.) stand. Ein anderes Thermometer $5\frac{1}{2}$ Fuſs über dem Boden aufgehängt, war *gemeiniglich* 4° F. (1°,8 R.) höher, als dieses. Die Eisbildung ging also selbst dann noch vor sich, wenn die Temperatur der Luft + 6,2 R. betrug. BARKER bemerkt, daſs die *hellsten und stillsten* Nächte diejenigen seyen, die am meisten Eis liefern, daſs hingegen Wolken und wechselnde Winde unverkennbare Vorzeichen einer geringen Eisproduction seyen; eben dieses bezeugt auch WILLIAMS, mit dem bestimmten Zusatze, daſs *Wind die Eisbildung gänzlich verhindere.* In diesem letztern Umstande liegt das sicherste Kennzeichen, daſs *Verdunstungskälte* hier nicht im Spiele sey, weil Luftzug das entscheidenste Beförderungsmittel der Verdunstung ist. Auch ist nach dem Obigen (litt. a.) eine kleine Bewegung des Wassers dem Gefrieren günstiger, als Ruhe; dennoch bildet sich bei stiller Luft das Eis eher, weil der Wind dem durch Ausstrahlung erkälteten Wasser die Wärme der umgebenden Luft zuführt. Dies Letztere soll auch durch die eingesenkte Lage jener Strohlager verhindert werden, da bekanntlich in vertieften kesselförmigen Plätzen Thau

1 Philos. Trans. Nr. 83.

2 Nach Barker; nach Williams mit *ungekochtem Pumpwasser.* S. oben unter *a.*

3 Die Ausdehnung solcher Anstalten läſst sich daraus beurtheilen, daſs nach Williams 300 Personen bei einer derselben angestellt waren.

und Reif stärker ansetzen, als an offenen Stellen. Ueberdem beträgt die Verdunstungskälte nach SAUSSÜRE bei 18° R. Wärme nur 3° R.[1], sie ist also lange nicht vermögend, eine Temperaturerniedrigung von 6° R. zu bewirken. Wohl aber vermag dieses die *Ausstrahlung*. WILSON fand in einer hellen und windstillen Nacht die Oberfläche des Schnees 16° F. (oder 7° R.) kälter als die Luft nur 2 Fuſs über demselben[2], und WELLS fand oft die Grasfläche um 12 bis 14° F. (5°,4..6°,3 R.) kälter als die umgebende Luft. Diese Data mögen hier an die Stelle der noch mangelnden Versuche über die Wärmestrahlung des Wassers treten, die wir aus keiner Ursache geringer anzunehmen haben, als die des Schnees, oder des Rasens. Daſs bei der erwähnten Eisbildung keine Verdunstung, sondern im Gegentheil noch die durch Strahlung bewirkte Thauabsetzung statt finde, zeigt ein Versuch von WELLS, der in England in kühlen Nächten vom Mai und October die Operation der Indier nachahmte. Er setzte in einer hellen Nacht zwei Untertassen mit 2 Unzen Wasser jede, auf einem Lager von Stroh dem freien Himmel aus; am Morgen waren beide gefroren, und der eine Eiskuchen hatte 2½, der andere 3 Gran an Gewicht *gewonnen*. Das Gras war in jener Nacht 9½ F. (4° R.) und das Stroh 12° F. (5½° R.) kälter als die Luft. Auf dieser Erkältung durch Wärme-Ausstrahlung beruht auch vornehmlich die Erfahrung der Anwohner an Seen und Flüssen, daſs diese Gewässer auch bei groſser und anhaltender Kälte oft lange nicht gefrieren, sobald nur die Nächte *bewölkt* sind.

2. Eisbildung durch Verdunstung.

Daſs Verdunstung Kälte erzeuge, war zwar längst bekannt, und dieses Mittel wurde zur Abkühlung von Getränken durch Umwickelung der Gefäſse mit befeuchteten Lappen benutzt. Allein man war (aus Gründen, die so eben angeführt worden sind) nicht im Stande, durch Verdunstung ein wirkliches Gefrieren hervorzubringen. Dieses ist erst seit wenigen Jahren durch LESLIE in Edinburg[3] in solchem Maſse bewerkstelligt worden, daſs sein Verfahren hinreicht, mitten im Sommer Quecksilber zum Gefrieren zu

1 Voy. aux Alpes. T. II. S. 219. Nach Versuchen von WELLS bei 19° R. ebenfalls 6—7° F. (2°,8 R.) und bei + 3°,5 R. Wärme nur noch 0°,7 R. On Dew. S. 268.

2 Essay on Dew. S. 269.

3 Ann. de Chim. 1811. G. Ann. XLIII. 373.

bringen. Das Ganze beruht auf der Benutzung zweier Mittel, eine schnelle und immer erneuerte Verdunstung der Flüssigkeit hervorzurufen. Diese sind: eine die Feuchtigkeit sehr anziehende *Substanz*, und *schnelle Verdünnung der Luft*. Die Erstere, indem sie die eben entwickelten Wasserdämpfe absorbirt, giebt neuen Entwickelungen Raum, und die Letztere beschleunigt die Dampfbildung durch Verminderung des Luftdruckes. Unter den verschiedenen Stoffen, welche die Feuchtigkeit absorbiren, giebt Leslie der *Schwefelsäure* den Vorzug. Sie wirkt nach ihm stärker, als der salzsaure Kalk, und ihre Kraft bleibt sich so ziemlich gleich, bis sie ein dem ihrigen gleiches Volumen Wasser in sich gesogen hat. Durch Auskochen läſst sie sich leicht wieder von dem aufgenommenen Wasser befreien. Das Verfahren ist folgendes: Man nimmt einen Recipienten mit tragbarem Teller, am besten von der Form einer Halbkugel; setzt unter diesen in einem breiten und flachen Gefäſse die concentrirte Säure; 2 oder 3 Zoll höher befindet sich auf Glasfüſsen eine Schale mit reinem, gekochtem Wasser. Nun wird rasch ausgepumpt, und nach einer etwa 100maligen Verdünnung beginnt unter Entwickelung zahlreicher Luftblasen das Gefrieren. Nachher reicht eine 10 bis 20fache Verdünnung hin, das Wasser gefroren zu erhalten. Das Eis verdunstet dann allmälig, während dem die Säure eine hohe Temperatur behält, so daſs ein Eisstück von 1 Zoll Dicke auf diese Art in 5 bis 6 Tagen verschwindet. Die Wirkung wird bedeutend verstärkt, wenn man die erste Glasglocke mit einer zweiten bedeckt, um den Einfluſs der äuſsern Wärme abzuhalten. Noch auffallender wird der Versuch, wenn man einen
Fig. 19. Recipienten nimmt, durch dessen Obertheil ein Stängelchen luftdicht geschoben werden kann. Man hält die Schale mit dem Wasser während des Auspumpens bedeckt, hebt dann plötzlich den Deckel auf, so daſs das Wasser mit dem verdünnten Luftraume in Berührung kommt. In wenigen Minuten sieht man die Eisnadeln sich bilden, und bald verwandelt sich das Ganze in eine feste Masse von sehr durchsichtigem Eise. Nimmt man Eis und kältende Mischungen zu Hülfe, so läſst sich selbst im Sommer das Quecksilber zum Gefrieren bringen. Leslie hat einen vollständigen Apparat angegeben, mit welchem unter mehrern Glasglocken, die auf einem mit Luftpumpe und Leitungsröhren versehenen Tische sich befinden, Eis gebildet werden

kann[1]. Nach CLEMENT und DESORMES[2] ist LESLIE's Entdeckung von grofsem Nutzen zur schneller Austrocknung solcher Stoffe, welche keine Erhitzung vertragen, wie auch animalischer und vegetabilischer Substanzen, die man lange aufzubewahren wünscht.

Dafs auch eine *relative* Verdünnung, oder die Ausdehnung stark verdichteter Luft *Kälte* hervorbringe, ergiebt sich aus der Eisbildung, welche bei der Höll'schen Maschine im Schemnitz (einer Art *Herons Brunnen*) statt findet, wenn man den Hahn des untern Compressionsgefäfses öffnet. Die etwa bis aufs fünffache comprimirte Luft in diesem Kessel strömt dann mit grofsem Geräusche und Heftigkeit heraus, und wenn man vor die Oeffnung einen festen Körper hinhält, so setzen sich an demselben die condensirten Wasserdämpfe in Gestalt von weifsen und dichten Eiskörnern an; das Phänomen hat in allen Jahreszeiten statt; und die umgebende Temperatur der Grube ist 10 bis 12° R. Die Erscheinung erklärt sich sehr einfach dadurch, dafs die ausströmende Luft bei ihrer Verdichtung eines Theils ihrer Wärme beraubt worden ist, und nun, da der äufsere Druck aufhört, den zu ihrer Expansion erforderlichen Wärmestoff aus der umgebenden Luft oder einem dargehaltenen festen Körper an sich reifst, und so eine plötzliche locale Erkältung erzeugt, welche die mitgebrachten oder in der umgebenden Luft vorhandenen Wasserdämpfe verdichtet und gefrieren macht[3]. *H.*

Eisen.

Ferrum, Mars; **fer;** ***Iron.*** Die Natur liefert dieses nützlichste Metall reichlich theils im geschwefelten, theils im oxydirten Zustande, und im letzten Falle oft in Verbindung mit verschiedenen Säuren und andern Metalloxyden; aufserdem gediegen in Meteormassen. Man scheidet es aus den natürlichen Oxyden des Eisens durch heftiges Glühen mit Kohle, gewöhnlich in den Hoheisenöfen. Das so erhaltene *Gufseisen, Roheisen,* wird von den fremdartigen Stoffen durch das Eisenfrischen befreiet, bei welchem Procefs dieselben nebst einem Theile des

---

1 Supplement to the Encyclop. Britann. Art. Cold, Vol. III. part. I. S. 255. G. Ann. XLIII. 373.

2 G. Ann. XLIII. 378.

3 S. Journ. de Phys. XLVIII. 166 u. G. Ann. XVIII. 412.

Eisens oxydirt, und so als Gas und Schlacke entfernt werden. Das so gereinigte Eisen, *Stab*- oder *Frischeisen*, hat ein specifisches Gewicht von 7,788, und ist ductil, jedoch härter und zusammenhängender, als alle andere Metalle. Es ist retractorischmagnetisch. Es erweicht sich in der Rothglühhitze, läfst sich in der Weifsglühhitze schweifsen und schmilzt erst bei einer noch höheren Temperatur.

Seine Verbindungen sind:

Das *Eisenoxydul* (28 Eisen auf 8 Sauerstoff) ist nicht für sich bekannt, sondern blofs in Verbindung mit Wasser und Säuren. Das *Eisenoxydulhydrat* (durch Niederschlagung eines Eisenoxydulsalzes mit einem Alkali erhalten) ist weifs, wird aber an der Luft durch Oxydation schnell grün, dann braun, die *Eisenoxydulsalze* sind meistens grünlich oder weifs gefärbt, entziehen der Luft und vielen andern Körpern Sauerstoff, wodurch sie sich in Eisenoxydsalze verwandeln, und geben mit reinen und kohlensauren Alkalien und mit blausaurem Eisenoxydulkali einen *weifsen*, mit blausaurem Eisenoxydkali einen *blauen*, mit hydrothionsaurem Alkali einen *schwarzen* Niederschlag. Die wichtigsten Eisenoxydulsalze sind: das *salzsaure Eisenoxydul*, erscheint in blafsgrünen, leicht in Wasser und Weingeist löslichen, an der Luft zerfliefsenden Krystallen. *Schwefelsaures Eisenoxydul* oder *Eisenvitriol*, das bekannte blafsgrüne, leicht im Wasser lösliche und leicht krystallisirende Salz, welches beim Auflösen von Eisen in verdünnter Schwefelsäure erhalten wird, und beim Erhitzen zuerst in entwässertes weifses Salz übergeht, dann sich durch Anziehen von Sauerstoff aus der Luft in den rothen gebrannten Vitriol verwandelt. *Hydrothionsaures Eisenoxydul* bildet sich beim Vermengen von Eisenfeilicht mit Schwefel und Wasser, durch Zersetzung des Letztern, als eine schwarze Materie, welche aus der Luft begierig Sauerstoff anzieht, und dabei soviel Wärme entwickelt, dafs bei gröfseren Massen wirkliche Entzündung eintreten kann, worauf die Darstellung der künstlichen Vulcane nach Lemery beruht. Das *kohlensaure Eisenoxydul* kommt natürlich als *Eisenspath* vor; durch Ueberschufs von Kohlensäure in Wasser gelöst bildet es die meisten Stahlwasser. Das *einfach-blausaure Eisenoxydul* ist eine gelbe, körnige, nicht im Wasser lösliche Materie, welche mit vielen andern blausauren Salzen zu Doppelsalzen verbindbar ist. Das

bekannteste von diesen Doppelsalzen ist das *blausaure Eisenoxydulkali* oder *Blutlaugensalz*, welches gelb und leicht im Wasser löslich ist, und mit der Auflösung der meisten schweren Metalloxyde in Säuren verschiedenartig gefärbte Niederschläge hervorbringt (aus diesem schweren Metalloxyd, aus Eisenoxydul und aus Blausäure bestehend) und deshalb als Reagens für viele Metalle gebraucht wird.

Das Eisenoxyd (28 Eisen auf 12 Sauerstoff) findet sich in eisenschwarzen spitzen Rhomboëdern krystallisirt als *Eisenglanz*, aufserdem als *Rotheisenstein*, besitzt in Pulvergestalt eine braunrothe Farbe, und ist nicht magnetisch. Es bildet mit Wasser das *Eisenoxydhydrat*, das als *Brauneisenstein* natürlich vorkommt, sich beim Aussetzen des feuchten Eisens an die Luft als *Eisenrost* bildet und beim Glühen unter Wasserverlust in rothes Eisenoxyd verwandelt wird. Die *Eisenoxydsalze* sind meistens braun und roth gefärbt, schmecken zusammenziehender, als die Eisenoxydulsalze, werden durch verschiedene Substanzen, welche Sauerstoff aufzunehmen fähig sind, in Eisenoxydulsalze verwandelt, geben mit reinem nnd kohlensaurem Alkali gelbbraune Niederschläge, mit blausaurem Eisenoxydulkali einen blauen, mit Galläpfeltinctur einen blauschwarzen, mit Hydrothionsaurem Alkali einen schwarzen, und färben sich lebhaft roth mit Schwefelblausäure und mit Mohnsäure. Hierher gehören unter andern: das *salpetersaure* und das *salzsaure Eisenoxyd*, welche fast blofs als gelbbraune Flüssigkeiten bekannt sind, das *basisch schwefelsaure Eisenoxyd*, welches aus der, der Luft dargebotenen Auflösung des Eisenvitriols als ein braunes Pulver niederfällt, und das *saure*, welches dabei zu einer braunen Flüssigkeit gelöst bleibt. Das *basischphosphorsaure Eisenoxyd*, welches als *Raseneisenstein* vorkommt.

Ein oder mehrere Oxyde, welche mehr Sauerstoff, als das Eisenoxydul, weniger als das Eisenoxyd enthalten, und als Verbindungen des Eisenoxydul's mit Eisenoxyd nach verschiedenen Verhältnissen betrachtet werden können, werden unter dem Namen des *Eisenoxyd-Oxyduls* zusammengefafst. Dieses findet sich in der Natur als *Magneteisenstein*, bildet sich beim Verbrennen des Eisens an der Luft als *Hammerschlag* u. s. w. Es ist eisenschwarz, krystallisirt in regelmäfsigen Oktaëdern, und ist magnetisch, bald blofs retractorisch

bald auch attractorisch. Mit Wasser bildet es ein schmutzig-grünes *Hydrat*, mit Säuren die *Eisenoxyd-oxydulsalze.* Diese sind häufig grün oder brau geben mit Alkali einen schmutzig grünen Niederschlag, und zeigen übrigens theils die Reactionen der Eisenoxydule, theils die der Eisenoxydsalze. Das natürliche *Berlinerblau* ist *phosphorsaures*, das künstliche ist *blausaures* und das *Würfelerz* ist *arseniksaures Eisenoxyd-Oxydul.*

Das Chloreisen im Minimum (28 Eisen auf 36 Chlor) ist grauweifs, und löst sich im Wasser zu salzsaurem Eisenoxydul auf. Das *Chloreisen im Maximum* (28 Eisen auf 54 Chlor) ist braun und verdampfbar, und liefert mit Wasser salzsaures Eisenoxyd. — Das *Schwefeleisen im Minimum* (28 Eisen auf 16 Schwefel) kömmt ziemlich rein als *Magnetkies* vor und wird künstlich durch Erhitzen von Schwefel mit Eisen dargestellt. Es ist bräunlichgelb, metallglänzend und megnetisch, und löst sich in wässerigen Säuren, unter Entwickelung von Hydrothionsäure auf. Das *Schwefeleisen im Maximum* (28 Eisen auf 32 Schwefel) findet sich als *Schwefelkies* und *Wasserkies* und läfst sich nicht künstlich erhalten. Es ist gelb, verliert beim Glühen in verschlossenen Gefäfsen die Hälfte des Schwefels, und entwickelt mit Säuren keine Hydrothionsäure. — Das *Phosphoreisen* ist grauweifs, metallglänzend und spröde; es findet sich in manchem Eisen und macht es kaltbrüchig.

Zum *Kohlenstoffeisen* ist vorzügiich der Stahl, das Gufseisen und der Graphit zu zählen, von denen der Stahl am wenigsten, der Graphit am meisten Kohlenstoff enthält. Den *Stahl* bereitet man theils, indem man dem Gufseisen durch Schmelzen an der Luft blofs einen Theil seines Kohlenstoffs entzieht, durch welches *Stahlfrischen* der *Frischstahl* oder natürliche Stahl erhalten wird; theils indem man Stangen von Stabeisen, mit Kohlenpulver geschichtet mehrere Tage im Glühen erhält, wobei der Kohlenstoff allmälig das Eisen durchdringt, uud dasselbe in *Cementirstahl* oder *Brennstahl* umwandelt. Wird ein solcher Stahl unter einer Decke von grünem Glaspulver geschmolzen, so erhält man den *Gufsstahl.* Der Stahl ist eine Verbindung von Eisen mit ungefähr 0,01 Kohlenstoff. Mancher Stahl hält aufserdem einige andere Metalle in

sehr kleiner Menge beigemischt, die zum Theil seine Härte vermehren. So verdankt der indische Stahl oder *Wootz* seine Härte und Damascirung der Beimischung von etwas Alumium und zum Theil auch Silicium; auch der Zusatz von Chrom, Silber, Platin u. s. w. zum Stahl in ganz kleinen Mengen ertheilt ihm theils gröfsere Härte, theils andere gute Eigenschaften. Stahl, bis zum Glühen erhitzt und langsam abgekühlt, ist fast so weich wie Eisen, rasch abgekühlt, *gehärtet*, ist er sehr hart und spröde, und zeigt einen feinkörnigen Bruch. Wird er dann wieder gelind erwärmt, *angelassen*, so verliert er um so mehr von seiner Härte und Sprödigkeit, einer je höheren Temperatur er ausgesetzt wurde. Diese wird durch die Farben bestimmt, mit welchen der Stahl anläuft; bei schwacher Erhitzung färbt er sich hellgelb, dann dunkelgelb, dann kermesinroth, dann hellviolett, dann dunkelblau; bei noch stärkerem Erhitzen würde er grau und matt werden. Diese verschiedenen Farben, die sich auch bei der allmäligen Oxydation anderer Metalle, wie des Kupfers u. s. w. an der Luft in derselben Ordnung einstellen, rühren ohne Zweifel nicht von verschieden gefärbten Oxyden her, sondern von verschieden dicken Lagen desselben Oxyds (beim Stahl vom Eisenoxyd-Oxydul) welche, so lange sie sehr dünn sind, das Licht noch bis auf die Oberfläche des blanken Metalles dringen lassen, aber, je nach ihrer Dicke, eine verschiedene Färbung des von da aus reflectirten Lichtes zu Wege bringen, welche aber bei gröfserer Dicke undurchgänglich für das Licht werden, und dann ihre eigene glanzlose Farbe zeigen. Der Stahl ist ein wenig dichter und schmelzbarer, als das reine Eisen, läfst sich nicht so gut schweifsen, nimmt den Magnetismus in gehärtetem Zustande schwieriger an, hält ihn aber viel fester, rostet nicht so leicht und läfst bei der Auflösung in Säuren Graphit in Gestalt eines schwarzen Pulvers zurück, daher Salpetersäure auf Stahl einen schwarzen Flecken macht.

Das *Gufseisen* enthält aufser 0,02 bis 0,04 Kohlenstoff häufig Phosphor, Schwefel und verschiedene Erdmetalle und schwere Metalle. Je nach dem Verhähtnifs dieser Stoffe zeigt es verschiedene Eigenschaften. Man unterscheidet vorzüglich weifses, graues und schwarzes, von dem das weifse am wenigsten, das schwarze am meisten Kohlenstoff enthält. Das weifse ist sehr hart und spröde, das schwarze ist von Graphitblättchen durchzogen, und das graue ist wegen seiner Weichheit und

seines Zusammenhalts zu den meisten technischen Zwecken am geeignetsten. Das Gufseisen rostet nicht so leicht und ist schmelzbarer als Eisen und Stahl, läfst sich nicht schweifsen, und ist in der Glühhitze so weich, dafs man es zersägen kann.

Der *Graphit* oder das *Reifsblei*, welcher sowohl natürlich vorkommt, als bei der Bereitung des Gufseisens sich erzeugt, enthält 0,90 bis 0,96 Kohlenstoff, ist weich und abfärbend, nicht magnetisch, fast unschmelzbar, nicht in Säuren löslich, und verbrennt nur sehr schwierig. *G.*

Ekcentricität.

Eccentricitas; eccentricité; *eccentricity*. Die Ekcentricität der Ellipse oder Hyperpel ist der Abstand des Brennpunctes von Mittelpuncte. Wenn C den Mittelpunct der Ellipse, S ihren Brennpunct, CA die halbe grofse Axe vorstellt, so ist CS die wahre Gröfse der Ekcentricität, oder wenn man
Fig. 13.
sie sogleich mit der halben grofsen Axe vergleicht, $\frac{CS}{CA} = e$, die Ekcentricität, für die = 1 gesetzte halbe Axe. Im letzten Sinne ist sie bei der Ellipse immer ein ächter Bruch, und so pflegt man sie bei den Planetenbahnen in Vergleichung gegen die als Einheit betrachtete halbe grofse Axe anzuführen. In der Hyperbel hingegen ist der Brennpunct S weiter als der
Fig. 14.
Scheitel A vom Mittelpuncte C entfernt, und daher $\frac{CS}{CA}$ gröfser als 1. Hieraus erhellt, was bei den elliptischen Planeten- und Kometenbahnen die Ekcentricität ist, und da sich nach den neuesten Berechnungen Kometen finden, deren Bahn hyperbolisch zu seyn scheint, so kommen in den Verzeichnissen der Kometenbahnen auch solche vor, deren Ekcentricität > 1 ist.

Wenn die grofse Axe der Bahn = a, die kleine = b ist, so hat man $b = a. \sqrt{(1 - e^2)}$ für die Ellipse; die Hyperbel hat keine zweite begrenzte Axe.

Da die Erde und die Planeten, auch die meisten Kometen in Ellipsen laufen, in deren einem Brennpuncte die Sonne steht, so ist für ihre Bahnen die Ekcentricität der Abstand der Sonne vom Mittelpuncte. Der Abstand in der Sonnennähe

ist daher $= a(1 - e) =$ der halben Axe weniger der Ekcentricität; der Abstand in der Sonnenferne $= a(1 + e) =$ der halben Axe addirt zur Ekcentricität.

Die Alten sahen die Sonnenbahn, worin nach ihrer Meinung die Sonne sich um die Erde bewegen sollte, als einen Kreis an; aber die ungleiche scheinbare Bewegung der Sonne veranlaſste auch sie, die Erde nicht in den Mittelpunct zu setzen, sondern ihr eine Ekcentricität beizulegen.

Die Gröſse der Ekcentricität für die einzelnen Planetenbahnen ist in den Artikeln angegeben, wo von den einzelnen Planeten die Rede ist. Andere sie betreffende Betrachtungen, oder die Mittel, die Gestalt der Bahn, folglich auch die Ekcentricität zu finden, s. im Art. *Bahn der Planeten.* *B.*

Ekliptik.

Ecliptica, orbita solis annua; Ecliptique; *Ecliptic;* (*ἐκλειπτικὴ* scil. *γραμμὴ*; von *ἔκλειψις*, Finsterniſs); ist derjenige gröſste Kreis am Himmel, den der Mittelpunct der Sonne bei seiner jährlichen Bewegung unter den Sternen scheinbar durchläuft. Er heiſst bei den griechischen Astronomen der schiefe Kreis (*λόξος κύκλος*) weil er eine schiefe Lage gegen den Aequator hat.

Selbst oberflächliche Beobachtung muſste schon früh die eigene Bewegung der Sonne wahrnehmen lassen. Denn nicht bloſs bemerkte man, daſs die Sonne nicht alle Tage gleich hoch über den Horizont herauf kommt, sondern wenn man auf die kurz nach ihrem Untergange in der Gegend, wo sie untergegangen war, sichtbar werdenden Sterne achtete, so muſste man bald gewahr werden, daſs sie eine eigne Bewegung von Westen nach Osten unter den Sternen habe. Waren die Sterne ziemlich genau nach ihrer wahren Lage auf einer künstlichen Himmelskugel aufgezeichnet, so konnte schon diese Beobachtung ungefähr dienen, um den Weg der Sonne unter den Sternen aufzufinden, und da man im Frühling und Herbst die Sonne bei Sternen im Aequator fand und bemerkte, daſs sie um diese Zeit einen eben solchen Bogen oberhalb des Horizontes beschrieb, wie die Sterne im Aequator, statt daſs sie im Sommer $23\frac{1}{2}$ Gr. höher und im Winter $23\frac{1}{2}$ Gr. tiefer bei ihren Culminationen stand, so muſste man leicht schlieſsen, daſs die Son-

nenbahn, schief geneigt gegen den Aequator, diesen in zwei einander gegenüber liegenden Puncten schneidet, und sich mitten zwischen diesen Puncten 23 bis 24 Grade vom Aequator entfernt.

Durch solche Beobachtungen waren schon die Alten im Stande, die Ekliptik sehr gut aufzuzeichnen und zu bemerken, daſs die Finsternisse des Mondes eintreten, wenn der Mond sich in der Ekliptik befindet. Die Alten bedienten sich zu den Beobachtungen, worauf sie solche Bestimmungen gründeten, der Ringkugel; unsere Beobachtungen am Meridiankreise geben uns viel genauere Mittel um zu bestimmen, ob die Ekliptik ein gröſster Kreis sey, und welche Lage gegen den Aequator sie habe.

Denken wir uns nämlich die Polhöhe des Ortes als völlig genau bekannt, und den Meridiankreis vollkommen genau aufgestellt, so läſst sich 1. die Zeit und der Ort des Aequinoctii, 2. die Zeit und der Ort des Solstitii, und 3. auch für jeden andern Mittag die Lage der Sonne finden und folglich giebt die Beobachtung an, ob ihr wahres Fortrücken dem Fortgehen auf dem durch jene Angaben festgesetzten gröſsten Kreise gemäſs ist. Um das Aequinoctium zu finden, muſs man gegen die Zeit, wo die Sonne durch den Aequator geht, ihre Mittagshöhe mehrere Tage hinter einander beobachten; findet man nun zwei auf einander folgende Tage, wo sie am einen die Höhe = Höhe des Aequators — u, und am andern die Höhe = Höhe des Aequators + v hatte, so ist sehr nahe die Zeit des Aequinoctii um $\frac{u}{u+v} \times 1$ Tag nach der ersten dieser beiden Beobachtungen. Und wenn man den Durchgang der Sonne durch den Meridian an beiden Tagen mit dem Durchgange eines bekannten Sternes verglich, so kann man nach eben dem Verhältniſs den Abstand des Aequinoctialpunctes von jenem Sterne in Rectascension zwischen den Rectascensions-Unterschieden der Sonne und jenes Sternes, so wie sie sich an jenen Tagen fanden, einschalten. Um die gröſste Entfernung der Sonne vom Aequator zu finden, dienen zwar die beobachteten gröſsten und kleinsten Mittagshöhen der Sonne um die Zeit der Solstitien, da es sich aber sehr selten trifft, daſs das Solstitium genau auf einen Mittag an dem Beobachtungsorte fiele, so würden diese Beobach-

tungen allein jene Abweichung meistens etwas zu klein geben; es erhellet aber leicht, daſs man aus mehreren um das Solstitium angestellten Beobachtungen, indem man durch die vermittelst derselben, bestimmten Puncte einen gröſsten Kreis legt, finden kann, welche in die Zwischenzeiten der Beobachtung fallende gröſste Declination die Sonne erreicht habe. Hat man durch diese Beobachtungen die Lage des gröſsten Kreises bestimmt, worauf sich die Sonne bei den Aequinoctien und Solstitien befindet, so ergiebt jede tägliche Beobachtung, wenn sie von Refraction, Parallaxe und allen Fehlern des Instrumentes u. s. w. befreit ist, eine Bestätigung der Behauptung, daſs die Sonne immer sich auf jenem gröſsten Kreise befindet. — Die Abweichungen, welche wegen der Perturbation statt finden, können wir hier als völlig unbedeutend unerwähnt lassen.

Da man aber bei Untersuchungen von dieser Wichtigkeit die Bestimmungen unabhängig von der Polhöhe des Ortes, deren absolut genaue Bestimmung höchst schwierig ist, zu erhalten wünscht, so verdient die Methode, die man zu diesem Zwecke anwendet, hier noch erwähnt zu werden. Die Neigung der Ekliptik gegen den Aequator oder die *Schiefe der Ekliptik* findet man unabhängig von der Polhöhe, wenn man in beiden Solstitien die der gröſsten Declination entsprechende Mittagshöhe gehörig bestimmt. Diese Bestimmung setzt eine genaue Kenntniſs der der Refraction voraus, indem die wahre Mittagshöhe bei den hohen Ständen der Sonne im Sommer eine ganz andere Correction als bei den sehr kleinen Höhen im Winter erfordert; ist diese aber genau bekannt, und nimmt man darauf Rücksicht, daſs eine sehr kleine wechselnde Aenderung wegen der Nutation statt findet, so giebt der Unterschied der richtig hergeleiteten gröſsten und kleinsten Mittagshöhe halbirt die Schiefe der Ekliptik.

Der Ort des Aequinoctii wäre bekannt, wenn man die von diesem Puncte an gerechnete Rectascension irgend eines Sternes ganz genau kennte. Man findet nun leicht den Unterschied der Rectascension der Sonne und des Sterns an einem bestimmten Tage, aber da die Rectascension der Sonne unrichtig bestimmt wird, wenn Polhöhe und Schiefe der Ekliptik unrichtig angenommen seyn sollten, so muſs man mit jeder kurz nach dem Frühlings-Aequinoctio angestellten Beobachtung eine eben so lange vor dem Herbst-Aequinoctio angestellte Beobachtung verbinden. Der Fehler nämlich, den man bei der Berechnung der Rectascen-

sion der Sonne begeht, indem man diese aus der beobachteten Mittagshöhe mit einer etwas fehlerhaften Polhöhe und Schiefe herleitet, giebt im einen Falle die Rectascension eben so viel zu grofs, als im andern zu klein, und zwei bei gleichen Mittagshöhen im Frühling und Herbst angestellte Beobachtungen geben verbunden also eine richtige Rectascension des Sterns. Die Correction wegen der Refraction und wegen Fehler des Instruments mufs freilich genau seyn, und man mufs sich nicht auf zwei solche combinirte Beobachtungen allein verlassen, sondern aus zahlreichen Paaren solcher Beobachtungen ein sicheres Resultat herleiten[1].

Die Ekliptik behält nicht immer einerlei Lage gegen den Aequator, aber diese Aenderungen hängen fast ganz allein von der veränderten Stellung der Erde oder der veränderten Lage des Aequators ab; die Artikel *Vorrückung der Nachtgleichen* und *Schiefe der Ekliptik* geben dieses näher an.

Die Ekliptik wird zwar wie jeder Kreis in 360 Grade getheilt; aber bei ihr kommt noch die besondere Eintheilung in 12 Zeichen vor, daher zum Beispiel die Länge der Sonne an irgend einem Tage durch Zeichen, Grade, Minuten, Secunden angegeben wird. Jedes Zeichen enthält 30 Grade, und das erste Zeichen geht vom Frühlings-Nachtgleichenpuncte bis zu 30 Gr. Länge. Die Himmelszeichen haben zugleich ihre Namen und die sie andeutende Bezeichnung von den Gestirnen, die im Thierkreise, d. i. dem Streifen, der die Ekliptik am Himmel umgiebt, stehen; sie sind folgende:

♈ *Widder,* in dessen Anfang sich die Sonne am 21. März befindet,

♉ *Stier,* in welchen die Sonne am 20. April tritt.

♊ *Zwillinge*, 21. Mai,

♋ *Krebs,* 21. Juni,

♌ *Löwe*, 22. Juli,

♍ *Jungfrau*, 23. August,

♎ *Waag* 23. September,

♏ *Scorpion,* 23. October,

♐ *Schütze,* 22. November,

♑ *Steinbock*, 21. December,

♒ *Wassermann*, 20. Januar,

♓ *Fische,* 18. Februar.

1 Bessel fundamenta astronomiae Cap. II.

Der Nullpunct des Widders ist der Punct der Frühlings-Nachtgleiche, der Nullpunct der Waage der Punct der Herbst-Nachtgleiche; die Sonne hat ihre gröſste nördliche Declination erreicht, wenn sie in 0° des Krebses, und ihre gröſste südliche Declination, wenn sie in 0° des Steinbocks ist.

Daſs diese Theile der Ekliptik nicht mehr den Sternbildern entsprechen, von denen sie ihre Namen haben, und daſs daher der Ausdruck: die *Sonne tritt in den Widder*, — nicht mehr heiſst, sie fängt nun an durch das Sternbild des Widders zu gehen, wird durch die *Präcession der Nachtgleichen* bewirkt, und soll dort näher erklärt werden.

Die Ebene der Ekliptik ist die Ebene, worin die Erde ihre wahre Bewegung um die Sonne vollendet, und ihre Lage ist durch jene Bestimmung der scheinbaren Sonnenbahn bestimmt. Die Lage dieser Ebene ist zwar nicht ganz unveränderlich, aber ändert sich doch ungemein wenig, und daher dient sie zur Grundlage für alle auf lange Zeiten hinaus gehende Bestimmungen. Eigentlich sollte man freilich alle Angaben auf die völlig unveränderliche Ebene beziehen, welche Laplace aus der Lage aller Planetenbahnen und aus der Kenntniſs der Masse aller Planeten herleiten lehrt[1]. *B.*

Elasticität.

Federkraft, Schnellkraft, Spannkraft, Springkraft; *Elasticitas, Elater, Contentio, Palintonia*; Elasticité, Ressort; *Elasticity, Elastic force.* [von ἐλαστὴς, ἐλατὴς, ἐλατὴρ (ἐλάω) der bewegt, treibt].

Man bezeichnet hiermit diejenige Eigenschaft der Körper, vermöge welcher sie, wenn sie ganz oder an einem Theile zusammengedrückt, zusammengebogen oder theilweise um eine ihrer Axen gedrehet wurden, wie auch im entgegengesetzten Falle, wenn man sie durch irgend eine Gewalt in einen gröſseren Raum ausdehnte, ausspannte, nach dem Aufhören der diese Veränderungen bewirkenden Ursachen ihre vorige Gestalt wieder annehmen. Die erstere jener genannten Erscheinungen zeigt sich bei allen Körpern, sowohl den festen als auch den flüssigen, und zwar nicht bloſs der tropfbar flüssigen, sondern auch

1 Exposit. du système du monde Livre IV. Chap. 3.

den expansibelen oder elastisch flüssigen, die letzteren dagegen werden allgemein bei festen Körpern beobachtet, bei tropfbaren zwar nicht durch Erfahrung gefunden, allein es läfst sich nach der Analogie mit Grunde schliefsen, dafs auch diese sich in ihren früheren Raum wieder zusammenziehen würden, wenn man sie durch irgend eine mechanische Gewalt (aufser dem Einflusse der Wärme) in einen gröfseren Raum auszudehnen vermöchte; den luftförmigen Körpern aber, also den Gasarten und Dämpfen, kommt die Eigenschaft, sich nach aufhörender äufserer, mechanisch wirkender, ausdehnender Kraft in ihren vorigen Raum wieder zusammen zu ziehen, überall nicht zu, indem sie vielmehr allezeit einer äufseren zusammendrückenden Kraft entgegen sich auszudehnen, sich zu expandiren streben. Indem es aber zum Wesen der Elasticität gehört, dafs ein Körper, welchem diese Eigenschaft zukommt, allezeit das Bestreben äufsere, sein durch den Einflufs der Wärme bedingtes Volumen beizubehalten, folglich seinen früheren Raum wieder einzunehmen, mag derselbe durch äufsere mechanische Gewalt verkleinert oder vergröfsert seyn, so können die gasförmigen Körper nicht füglich *elastisch* genannt werden[1]. Man hat dieses lange gefühlt, und sich daher durch die Benennungen der *absoluten*, *specifischen*, *permanenten* Elasticität u. s. w. zu helfen gesucht; es scheint mir indefs der Sache am meisten angemessen zu seyn, den angegebenen Begriff der Elasticität festzuhalten, und diesemnach die festen und tropfbar flüssigen Körper *elastisch*, die gasförmigen aber nach Gren[2], Gehler[3], J. T. Maier[4], de Lüc u. a. *expansibel* zu nennen, jenen also *Elasticität*, diesen dagegen *Expansibilität* als bezeichnende Eigenschaft beizulegen[5]. Diesem nach wird also blofs von der Elasticität der

1 Der Ableitung nach liefse sich die Bedeutung des Wortes auch auf gasförmige Körper ausdehnen. Die individuelle Elasticität der festen und wahrscheinlich auch der tropfbar flüssigen Körper ist aber den gasförmigen nicht vollständig eigen.

2 Grundrifs d. Nat. S. 260.

3 Th. V. S. 244.

4 Anfangsgründe d. Nat. §. 90, 97, 98.

5 Gren a. a. O. S. 79. will diejenigen Erscheinungen, welche zur Elasticität gerechnet werden, trennen, und die einen mit Elasticität, die andern mit Contractilität bezeichnen, eine Unterscheidung, welche auf seiner nicht ganz richtigen Theorie der Elasticität be-

festen und tropfbar flüssigen Körper die Rede seyn, die Expansibilität aber, welche den gasförmigen Körpern zukommt, am gehörigen Orte gleichfalls untersucht werden.

I. Allgemeine Betrachtungen.

Einige der gemeinsten Erscheinungen, welche aus der Elasticität der Körper folgen, zeigen sich beim Federharze, einer elfenbeinernen, marmornen, gläsernen oder achatenen Kugel, einer Darmsaite oder Metallsaite u. dgl. m. Wird ein Stück Cautchouc, wegen seiner vorzüglichen Elasticität auch Federharz genannt, zusammengedrückt, oder in einen längeren Streifen ausgezogen, so zieht es sich bei nachlassender Gewalt wieder in seine frühere Form zurück. Am interessantesten in dieser Hinsicht, und das Wesen der Elasticität am deutlichsten zeigend ist eine elfenbeinerne Kugel. Alle solche elastische Kugeln von Elfenbein, Glas, Achat, Marmor, Stahl, Krystall, Bernstein, gepolsterte Bälle u. dgl. werden mit grofser Kraft zurückgestofsen, wenn sie auf irgend eine harte oder elastische Fläche fallen. Um die nächste Ursache, wodurch dieses geschieht, und den dabei statt findenden Procefs anschaulich zu machen nimmt man eine geschliffene Marmorplatte oder eine dicke Glasplatte von möglichst ebener Fläche und überzieht sie mit einer dünnen Lage Kienrufs, indem man sie über der Flamme eines Stückchens Kienholz oder eines mit Terpentinöl getränkten Ballens Baumwolle, an einem kleinen Stäbchen befestigt, schwärzt. Der hierdurch entstandene Ueberzug hat eine geringe Dicke, und indem eine elfenbeinerne Kugel die ebene Fläche eigentlich nur in einem geometrischen Puncte berühren kann, so wird dieselbe bei einer so leisen Berührung, dafs man diese kaum durch das Gehör vernimmt, nur an einem kleinen Puncte,

---

ruhet. Die nachfolgenden Untersuchungen werden zeigen, dafs eine solche Unterscheidung unnöthig ist. Das Wort: expansibel, von *expandere*, ausdehnen, ausbreiten, drückt zwar, genau genommen die Fähigkeit aus, durch irgend eine Ursache ausgedehnt, ausgespannt zu werden, also ausdehnsam, nicht aber das innere Bestreben nach Ausspannung, Ausbreitung, welches doch den gasförmigen Körpern eigen ist; allein es ist auf allen Fall eben so bezeichnend als das Wort elastisch, und verdient um so mehr aufgenommen und beibehalten zu werden, als es in der englischen und französischen Sprache bereits allgemein gebräuchlich ist.

der Dicke des färbenden Ueberzuges proportional, schwarz gefärbt seyn. Läſst man darnach die Kugel aus einer Höhe von 3 bis 6 Fuſs auf die Platte fallen und fängt sie beim Aufspringen wieder auf, so wird sie einen runden gefärbten Fleck von 2 bis 3 Lin. Durchmesser zeigen, dessen Gröſse die Berührungsfläche beider Körper angiebt, und woraus hervorgeht, daſs eine gewisse Menge Theile der Kugel zurückgedrückt seyn muſsten, deren Zurückspringen an ihren früheren Ort die Kugel in die Höhe trieb. Hierin zeigt sich also das eigentliche Wesen der Elasticität sichtbar, indem allezeit Theile der Körper zusammengedrückt werden, und mit einer der Zusammendrückung proportionalen Kraft ihren früheren Ort wieder einzunehmen streben.

So wie hierbei eine Verminderung des Volumens statt fand, geben ausgespannte Saiten, sowohl von Metall als auch aus Schafdärmen, Streifen Leders, vegetabilische Stränge, selbst Haare, Spinnfäden, Seidencoconfäden u. dgl. vielmehr eine scheinbare oder wirkliche Vermehrung ihres Volumens, wenn sie der Länge nach ausgedehnt werden; und bei nachlassender Gewalt sich wieder zusammenziehen. Beides aber, sowohl Zusammenziehung als auch Ausdehnung zugleich zeigt sich, wenn man einen elastischen Stab von Metall, Glas, Elfenbein oder Holz u. s. w., eine Stahlfeder, einen Streifen Fischbein u. dgl. aus der geraden Richtung krumm biegt, und der Körper bei nachlassender Gewalt vermöge seiner Elasticität wieder gerade
Fig. 20. wird. Bezeichnen nämlich a b c d die körperlichen Grenzen des geraden Stabes, beide parallel und gleich lang, und man biegt denselben krumm, so werden die Bogen a α b und c β d parallel bleiben, ersterer ist offenbar länger als letzterer, die Theilchen müssen daher in beiden der halben Differenz ihrer Länge proportional zusammengedrückt und ausgedehnt seyn. Es läſst sich also bei festen Körpern ihre Elasticität sowohl rücksichtlich der Ausdehnung als auch der Zusammendrückung der einzelnen Theile derselben anschaulich nachweisen[1].

Eine eigene Art der Elasticität zeigt sich bei denjenigen Körpern, welche als Cylinder von weit gröſserer Länge als ihr Durchmesser ist, z. B. Stäbe, Drähte, Saiten u. dgl. durch sich selbst steif oder durch irgend eine Kraft gespannt, um ihre

1 Vergl. Leslie Elements of Natural Philos. Edinb. 1823. I. 25.

Längenaxe gedrehet werden. Hierbei winden sich einige Theile über die andern, einige werden einander näher gebracht, andere weiter von einander entfernt; es findet also eine partielle Verdichtung und Verdünnung statt, und indem die Theile bei aufhörender Einwirkung der drehenden Kraft ihre vorigen Stellen wieder einnehmen, entstehen drehende Oscillationen um ihre Längenaxe. Etwas diesem ähnliches findet auch bei gedreheten Körpern statt, z. B. bei Seilen, Darmsaiten u. dgl. Im Allgemeinen werden alle Körper durch solche Drehungen verkürzt, am meisten aber findet dieses bei Seilen und Stricken statt, oder bei einzelnen neben einander herabgehenden Fäden, bei denen das Umwinden der einen um die andern auffallend sichtbar wird; indefs werden Metallsaiten durch solche Drehungen verkürzt, und selbst die Spinnefäden[1].

Man darf annehmen, dafs alle Körper elastisch sind, aber in einem sehr ungleichen Grade, und in sofern unterscheidet man die elastischen von den nicht elastischen. Zu den *elastischen* gehören unter den Metallen vorzugsweise der Stahl bei einem gewissen Grade der Härtung, das Platin, Kupfer, Silber, zu den *unelastischen* das Gold und Blei; überhaupt aber wird diesen Körpern eine gröfsere oder geringere Elastcität durch gewisse eigenthümliche Behandlungen mitgetheilt, als dem Stahle und in weit geringerem Grade auch dem Eisen durch das Federhartmachen, dem Silber, Platin, Kupfer, Zink, Nickel, in einem geringen Grade dem Zinn und Molybdän durch Hämmern, Walzen und Ausziehen zu Drahte, das Gold und Blei[2] sind so biegsam, dafs man sie, insbesondere das letztere, völlig unelastisch zu nennen geneigt seyn könnte, und die übrigen sind meistens so spröde, dafs ihre Elasticität nur schwer beobachtet wird. Keine andere Arten von Körpern gehen durch verschiedenartige Behandlung und durch Verbindung mit einander so sehr in die verschiedenen genannten Zustände über, als die Metalle. So ist Eisen mit viel Kohlenstoff als *Gufseisen* zum Theil sehr spröde[3], mit weniger Kohlenstoff als *Stahl* nach

---

1 S. Th. II. S. 698.

2 Das Blei wird nach den Versuchen von Guyton de Morveau weder durch Hämmern noch durch Pressen und Drahtziehen dichter, sondern nur unbedeutend in Verhältnifs von 11,358: 11,388 durch starkes Pressen in einer genau schliefsenden Form. S. Ann. de Chim. LXXI. 196.

3 Vergl. *Dehnbarkeit* Th. II. S. 506.

Umständeu sehr spröde oder höchst elastisch, im reinen Zustande sehr weich; Kupfer an sich und mit Zink verbunden biegsam, durch Hämmern sehr elastisch, mit Zinn verbunden aber spröde; Zink im gewöhnlichen Zustande sehr spröde, bei einer Temperatur zwischen 100° und 150° C. gewalzt aber ziemlich elastisch; Gold und auch Silber werden durch Zusatz von Kupfer härter und fähiger zum Elastischwerden. Die Erden, und unter ihnen hauptsächlich die Kieselerde, verbinden mit dem Zustande der Härte meistens einen hohen Grad der Elasticität. Unter den thierischen Stoffen sind das Fischbein, die Gräten, das Elfenbein, Schildpatt, Perlmutter, Horn, die Federn, Nägel, Haare u. s. w. vorzugsweise elastisch, die Vegetabilien aber zeigen im Durchschnitte sämmtlich einen hohen Grad der Elasticität, und indem den Flüssigkeiten, folglich auch den durch diese erweichten Körpern, ein hoher Grad der Elasticität nicht abzusprechen ist, so darf man mit Recht alle Körper für mehr oder weniger elastisch halten, und die Frage könnte blofs seyn, ob sich dieses auch auf die genannten sehr weichen Metalle und einige andere Körper ausdehnen liefse. Man hat als Beweis angeführt, dafs alle Körper den Schall leiten, und folglich elastisch seyn müssen. Ob aber die Fortpflanzung des Schalles bei einem Körper diejenige Elasticität beweise, wovon nach der oben aufgestellten Definition hier die Rede ist, bleibt so lange fraglich, als wir die eigenthümlichen Schallwellen, welche zur Fortleitung des Schalles erfordert werden, nicht genau kennen. Indefs ist das Blei und das Gold den Beobachtungen nach doch etwas elastisch, und da eben diese Metalle, so wie andere weiche Körper, durch grofse mechanische Gewalt nur wenig oder gar nicht zusammendrückbar sind, selbst auch das noch glühende, also sehr weiche Glas, nach den Versuchen des Grafen Bucquoi nicht mefsbar zusammengedrückt werden kann, so müssen wir sie allerdings für elastisch halten; weil wir sie sonst gegen alle Wahrscheinlichkeit für absolut harthalten müfsten [1]. Diese Eigenschaft ist daher als eine *allgemeine aller Körper* anzusehen. Dabei ist indefs zugleich wohl zu berücksichtigen, dafs die Tiefe, bis zu welcher ein Körper zusammengedrückt werden kann, oder die Raumverminderung, welche er dabei erleidet, nicht als das Mafs seiner Elasticität gelten darf. Eine

1 G. XLIII. 98.

Kugel von gehärtetem Stahle, von Glas oder Achat ist insbesondere durch gleiche Kräfte bei weitem weniger zusammendrückbar als eine von Holz, oder ein mit Haaren ausgestopfter Ball, aber dennoch ohne Zweifel elastischer zu nennen, insofern die niedergedrückten Theile mit weit mehr Kraft und ungleich vollkommener nach aufhörendem Drucke bei jenen ihre vorige Stelle wieder einnehmen, als bei diesen. Obgleich man hiernach also alle Körper allerdings elastisch nennen kann, und die Eigenschaft der Elasticität somit eine allgemeine ist, so ist sie doch zugleich auch eine relative, d. h. der Unterschied der Elasticität bei den verschiedenen Körpern ist so groſs, daſs man hiernach im gemeinen Sprachgebrauche und insbesondere für die praktische Anwendung einige elastisch, andere aber nicht elastisch nennt [1].

Unter die merkwürdigsten Körper, rücksichtlich der Elasticität gehört das Glas. Es wird weiter unten gezeigt werden, daſs dasselbe in kleineren und gröſseren Stücken in sofern vollkommen elastisch ist, als seine Theile bei nachlassendem äussern Drucke auf ihre vorige Stelle genau wieder zurückkommen. Hiervon abgesehen zeigt sich kein anderer Körper auf gleiche Weise im höchsten Grade spröde und zugleich auch höchst elastisch, und das Glas dient eben daher hauptsächlich dazu, diese beiden Eigenschaften anschaulich darzustellen. Die Elasticität zeigen schon mäſsig dicke Glasröhren, indem sie sich biegen lassen, noch mehr sehr dünne, bis zu den feinsten *Glasfäden* [2], sehr dünn geblasene Glaskugeln und Scheiben. Insbesondere zeichnen sich die sogenannten *Glastrompeten* aus, trompetenförmige Flaschen mit einem sehr dünnen, etwas gewölbtem Boden, welcher concav wird, wenn man durch Saugen die Luft in der Flasche etwas verdünnt, und convex, wenn man hineinbläſst. Diesen ähnlich sind die hohlen Glaskugeln von 5 bis 6 Z. Durchmesser, welche durch eine Glaswand von so feinem Glase halbirt sind, daſs dieselbe beim Hineinblasen oder Erschüttern der ganzen Kugel klirrt. Noch mehr wird die Elasticität des Glases dargethan durch einen Versuch, welchen Leslie [3] erzählt. Wenn man ein Thermometer mit groſser Kugel

1 Vergl. Musschenbrook Introd. 1. §. 63.
2 Vergl *Dehnbarkeit* Th. II. S. 511.
3 Elements of natural Philosophy. Edinb. 1823. I. 21.

und langer Röhre bis an das Ende der letzteren mit Quecksilber füllt, und umkehrt, so wird das Quecksilber herauslaufen, sobald man dasselbe schräg hält, noch mehr aber, wenn man es umkehrt, aber sogleich wieder sinken, wenn man es lothrecht hält, die Kugel herabwärts hängend. Hieraus geht hervor, daſs der Druck des schweren Metalles in Verbindung mit dem Luftdrucke das Glas der Kugel ausdehnt [1].

Auf gleiche Weise auffallend sind die Erscheinungen der Sprödigkeit beim Glase. Abgesehen von der Unbiegsamkeit gröſserer Stücke und dem leichten Zerspringen oder Zersplittern desselben durch mechanische Gewalt zeigt man dieselbe insbesondere an den *bononischen Flaschen* oder *Springkölbchen (phialae bononienses*; matras de Bologne; *Bologna jars)* und den *Springgläsern*, *Glastropfen*, *Glasthränen (lacrymae vitreae*; larmes bataviques, larmes de verre; *glass drops*, *Prince Rupert's drops)*. Die erstern sind gegen 3 bis 4 Z. lange, birnförmige, Kolben von weiſsem oder grünem Glase, oben von 0,5 unten von 1 bis 1,5 oder 2 Lin. Glasesdicke. Man kann dieselben an ihrem untern Ende mit einem Stücke Holz ziemlich heftig schlagen, ohne daſs sie zerbrechen wirft; man aber ein kleines Stück von einem Feuerstein, nur eine Linse groſs, hinein, so zerspringen sie in viele Stücke. Ein gröſseres Stück Quarz wirkt hierbei oft geringer als ein kleineres, wahrscheinlich weil ersteres sie minder leicht mit einer scharfen Spitze ritzt; gröſsere stumpfe und weiche Körper, auch mit gröſsrer Heftigkeit in ihnen bewegt, bringen keine Wirkung hervor. Sie werden auf die gewöhnliche Weise der Glasarbeiten geblasen, aber nicht im Kühlofen gekühlt, wodurch sie auſserordentlich spröde werden, indem die äuſsern Theile früher als die innern erkalten, und daher durch die inneren noch stark ausgedehnten Theile eine unverhältniſsmäſsige Ausdehnung behalten, wodurch die inneren wiederum sich nicht gehörig zusammenziehen können, und daher beim Geritztwerden zerspringen. Eben daher verlieren

1 Diesen Versuch hat schon früher v. Servières angegeben, leitete aber die Ursache von einer Zusammendrückung des Quecksilbers durch sein eigenes Gewicht ab, nicht von der Elasticität des Glases. S. Journ. Encyclop. 1778. Nov. p. 155. Zwar wirken beide Ursachen vereint, vorzugsweise aber die Elasticität des Glases.

sie ihre Eigenschaft, wenn man sie auf Kohlen langsam erhitzt und allmälig kalt werden läſst, oder in einem Kühlofen abkühlt. P. B. Balbus war es, welcher ihre Eigenschaft zuerst erkannte, und in Bologna Versuche damit anstellte, woher sie ihren Namen erhielten [1]. Die *Glastropfen* sind langgezogene, in einen meistens krumm gebogenen, zuweilen etwas schraubenförmig gewundenen Schwanz endigende Tropfen von grünem Glase, welche man glühend in kaltes Wasser tröpfeln läſst, so daſs sie schnell darin erkalten, und auf gleiche Weise eine ausgezeichnete Sprödigkeit erhalten, als die Bologneser Flaschen. Der dicke Theil derselben läſst sich mit einem hölzernen Hammer schlagen und sogar auch abschleifen, ohne daſs sie zerspringen, welches sogleich erfolgt, wenn man die Spitze abbricht, und zwar so sehr, daſs sie in ein grobes Glaspulver wie zerstoſsenes Glas, jedoch ohne scharfe Splittern, zerstieben. Weil dieses mit nicht unbedeutender Gewalt geschieht, so ist es zur Sicherung der Augen nothwendig, sie zugleich in der hohlen Hand festzuhalten. Auch bei diesen sind die Theile in starker Spannung, das Zerbrechen der Spitze leitet ein Zerspringen der oberen Theile ein, und dieses theilt sich sofort den übrigen mit. Daſs dieses die richtige Erklärung sey, hat zuerst Homberg erkannt [2], und Hooke ausführlich gezeigt [3], auch folgt es aus dem Verhalten der bononischen Flaschen und vielen andern analogen Erscheinungen, namentlich daraus, daſs viele schlecht gekühlte Gläser, Glasröhren und Scheiben nach vielen Seiten hin zerspringen, wenn sie an einer Stelle geritzt werden. Mit Unrecht hat man dia Erscheinung von dem Eindringen der Luft in die zahlreichen Blasen abgeleitet, welche sich allerdings oft in den Glasthränen finden, denn sie zerspringen auch im luftleeren Raume; und es giebt deren viele ohne diese Blasen; auch hat Bosc de'Antic gezeigt, daſs diese kleinen Bläschen nichts anders als in Dampf aufgelösete Glasgalle sind [4]. Man kann die Glastropfen auch aus weiſsem Glase verfertigen, jedoch gerathen diese seltener als die grünen, welches zu dem Glauben veranlaſst hat, als könnten sie nur aus letzterem verfertigt werden. An Sprödigkeit ihnen ähnlich sind

1 Comm. Soc. Bonon. I. I. 328.
2 Mém. de l'Ac. X. 147.
3 Microgr. obs. VII.
4 Mém. prés. IV.

die schraubenförmig gewundenen *Glasfäden* (*vermiculi vitrei*), welche ihre gewundene Gestalt ohne Zuthun der Arbeiter durch das Herabfliesen in das Wasser annehmen. Erhitzt man die Glastropfen auf Kohlen und läfst sie langsam in denselben oder im Kühlofen erkalten, so verlieren sie ihre Sprödigkeit, und gleichen dem gekühlten Glase [1].

Etwas diesem Aehnliches findet auch bei den Metallen, namentlich dem Stahl statt. Wird derselbe glühend in Wasser geworfen, so erhalten seine Theile eine eigenthümliche Spannung, er ist spröde, und zwar oft auf gleiche Weise, als das Glas (*glashart*), wird er aber dann wieder erhitzt, und erkaltet langsam (*angelassen*), so wird er weich oder federhart, je nachdem die Hitze, welcher man ihn wieder aussetzt, gröfser oder geringer war, und seine Federkraft ist nach diesen Bedingungen schwächer oder stärker. Man erklärt diese Erscheinung bei beiden genannten, und bei allen andern Körpern, wo sie stattfindet, daraus, dafs die Theile beim langsamen Erkalten eine der Cohäsion günstigere Lage annehmen, so dafs sie nicht so leicht über die Grenze derselben hinausgerückt werden können [2].

Bleibend oder *permanent* [3] *elastisch* heifst ein Körper, dessen Theile nach der Zusammendrückung oder Ausdehnung, wie lange diese Einwirkung auch dauern oder wie oft sie wiederholt werden mag, dennoch allezeit wieder die frühere Gestalt und das ursprüngliche Volumen des Körpers wieder herstellen, abgesehen vom Einflusse einer höheren oder geringeren Temperatur. Den Erfahrungen zu Folge können blofs die Flüssigkeiten permanent elastisch genannt werden. Von den expansibelen nämlich ist dieses so weit erwiesen, als überhaupt etwas durch Erfahrung erweislich ist [3], von den tropfbaren Flüs-

---

1 Kästner diss. math. et phys. n. VIII. p. 59. 125. Erxleben Naturlehre. S. 355.

2 Young Course of Lectures on Natural Phil. Lond. 1807. II Vol. 4. I. 644.

3. Permanente Elasticität, hat man bisher als unterscheidenden Charakter der expansibelen Flüssigkeiten angesehen, und diese Eigenschaft den Gasarten, im Gegensatze der Dämpfe beigelegt. Nennt man aber die Gasarten *expansibel*, so kann der Ausdruck, permanent elastisch, wieder in seiner eigentlichen Bedeutung genommen werden. Ohnehin bleiben die Dämpfe, so lange sie wirklich Dämpfe sind, eben so gut permanent elastisch, als die Gasarten.

4. Vergl. *Expansibilität.*

sigkeiten aber läſst sich dasselbe nur in so fern annehmen, als es aus theoretischen Gründen im höchsten Grade wahrscheinlich wird; auch entscheidet die oben erwähnte Erfahrung des Grafen Bucquoi dafür, indem das noch zähe, mithin nur unvollkommen flüssige Glas durch wiederholte Schläge mit dem Rammklotze nicht dichter wurde, folglich seine Theile durch mehrfache starke Compressionen einander nicht bleibend näher kamen. Unter den festen Körpern haben einige einen sehr hohen Grad der Permanenz ihrer Elasticität. So wird eine Stahlfeder oder eine gut geschlagene Messingfeder, eine dünne Stange Fischbein, Horn, Schildpatt und dergl. eine unbestimmbar lange Zeit elastisch bleiben, jedoch unter zwei Bedingungen, nämlich zuerst wenn ihrer Elasticität nicht über eine gewisse Grenze hinaus entgegengewirkt wird, so daſs ihre Theile nach aufhörendem Drucke vollkommen an ihren früheren Ort zurückkommen; und zweitens wenn die Zusammendrückung nicht zu lange Zeit anhaltend wirkt. Beispiele unglaublich anhaltender Elasticität unter diesen angegebenen Bedingungen geben unter andern die Federn der Taschenuhren und die feinen Spiralfedern der Unruhe in denselben. Wenn man diese übrigens längere Zeit, nämlich Monate oder Jahrelang gespannt läſst, so verlieren sie von ihrer Elasticität, und kommen nicht wieder auf ihren früheren Standpunct zurück. Eigentlich permanent elastisch sind daher nur die Flüssigkeiten, welches auch mit den theoretischen Vorstellungen über das Wesen der Elasticität übereinstimmt.

Schwieriger ist die Entscheidung der Frage, ob es *vollkommen elastische Körper* giebt oder nicht. Vollkommen elastisch nennt man insgemein diejenigen Körper, deren Kraft der Elasticität der zusammendrückenden Kraft genau proportional ist, deren Theile also bei nachlassendem Drucke ihren vorigen Raum vollständig wieder ausfüllen [1]. Untersucht man zuerst das Verhalten der festen Körper, so könnte man viele derselben allerdings nach dieser Feststellung des Begriffs vollkommen elastisch nennen. Wenn man nämlich Versuche mit der Drehwaage anstellt, und den an einer Metallsaite hängenden Körper aus dem Zustande der Ruhe um die lothrechte Axe der Saite durch einen nicht zu groſsen Bogen bewegt; so wird derselbe sich selbst überlassen seinen ursprünglichen Stand wieder einnehmen,

1 Musschenbroek Introd. I. 761. Robison Mech. Phil. I. 374. Biot Traité. I. 469.

wie oft man auch diesen Versuch wiederholt [1]. Die Federn der Uhren und noch mehr die Spiralfedern der Unruhe in denselben stellen sich, mindestens die letzteren, mehrere Decennien hindurch wieder auf ihren ursprünglichen Standpunct ein. Wenn man aber berücksichtigt, dafs alle feste Körper, wenn sie sehr lange Zeit in unausgesetzter Spannung erhalten werden, von ihrer Elasticität verlieren, so mufs zugleich auch noch nothwendig angenommen werden, dafs ein der kürzeren Zeit proportionaler Verlust der Elasticität gleichfalls statt finde, wenn derselbe auch so geringe ist, dafs er in dieser Ausdehnung nicht gemessen werden kann. Versteht man ferner unter vollkommener Elasticität diejenige Eigenschaft, vermöge welcher die Körper nach aufhörendem Drucke durch ihre Elasticität ihr voriges Volumen mit einer der zusammendrückenden *völlig gleichen* Kraft wiederherstellen, so kann ihnen eine solche auf keine Weise beigelegt werden; denn sonst müfste z. B. eine vollkommen elastische Kugel, eine federharte Stahlkugel, auf eine vollkommen elastische oder harte Platte fallend durch ihre Elasticität wieder zu einer gleichen Höhe emporgeschnellt werden, als von welcher sie herabfiel, und der Waagebalken einer Coulombschen Drehwaage an einer vollkommen elastischen Saite müfste um einen Bogen $= x$ gespannt und losgelassen einen Bogen $= 2x$ durchlaufen, welches beides, eben wie eine gespannte und schwingende Saite eine beständig fortdauernde Bewegung geben würde. Dafs dieses nicht stattfindet, kann man nicht vom Widerstande der Luft herleiten, weil im luftleeren Raume die Oscillationen zwar länger dauern, aber doch bald genug aufhören, und obgleich kein Vacuum ein absolutes ist, so kann man doch ohne Schwierigkeit zeigen, dafs die Bewegungen weit früher aufhören, als aus dem geringen Widerstande der noch übrigen verdünnten Luft erklärlich ist. Man leitet daher diesen Abgang einer vollkommenen Elasticität nicht ohne Grund

1 Robison a. a. O. S. 375 versichert Thon durch eine Oeffnung geprefst, und so zum Drahte formirt zu haben. Ein solcher, 0,05 Z. im Durchmesser und 7 F. lang, verstattete zwei ganze Umdrehungen um seine Längenaxe, und der Zeiger kam stets wieder auf seinen ursprünglichen Stand zurück. Ein Draht von Blei, viermal um eine ganze Umdrehung gedreht, brachte den Zeiger nicht wieder auf seinen ursprünglichen Stand, bei der Vergleichung aber zeigte sich der Thon elastischer als das Blei.

von einer Reibung der zusammengedrückten und an ihren ursprünglichen Ort zurückkehrenden Theile ab, wodurch nothwendig ein Theil der Kraft verloren werden muſs [1]. Mersenne [2] z. B. fand, daſs eine aus 12 Darmhäutchen verfertigte und durch 8 ℔ Gewicht gespannte Saite mit einer 0,25 Lin. dikken und mit 6,375 ℔. gespannten Metallsaite den Einklang gab, daſs aber die erstere nur 40 Secunden, die letztere 64 Sec. lang bebte, woraus er schlieſst, daſs sich die Theile des Metalles bei Veränderung der Gestalt weniger reiben, als die Theile der Darmsaite [3].

Flüssige Körper sind allerdings nach der zuerst aufgestellten Bedeutung dieser Bezeichnung vollkommen elastisch, insofern die tropfbaren nach den wenigen darüber vorhandenen Versuchen bei aufhörendem Gegendrucke ihren früheren Raum wieder ausfüllen [4], bei expansibelen aber ist dieses noch mehr der Fall, unter der Voraussetzung, daſs man stets von irgend einem geringeren Grade ihrer Zusammendrückung zu einem stärkeren übergeht, und so umgekehrt. Ob sie auch in der zweiten Bedeutung des Ausdrucks vollkommen elastisch genannt werden können, läſst sich zwar nicht durch Versuche ausmitteln, allein wenn schon die Reibung der Theile an einander bei ihnen kein Hinderniſs macht, so lassen sie sich doch in dieser Hinsicht nicht wohl als vollkommen elastisch ansehen, weil bei ihrer Compression allezeit Wärme entbunden, bei ihrer Ausdehnung aber gebunden wird; daſs Letzteres aber geschehe, erfordert einige Zeit, während welcher auch etwas Kraft verloren geht.

Unter vollkommen elastisch könnte man drittens die Eigenschaft der Körper verstehen, wenn sie einer jeden Zusammendrückung, Biegung, Drehung durch eine willkürlich groſse Kraft ohne Ende Widerstand leisteten, und nach aufhörender Einwirkung derselben ihr ursprüngliches Volumen wieder erhielten. In diesem Sinne ist kein Körper vollkommen elastisch, und ihre gröſsere oder geringere Elasticität wird nach der Stärke des Widerstandes gemessen, welchen sie den ihr Volumen ver-

1 Musschenbroek Introd. §. 763.

2 Harmonic. L. III. prop. 13.

3 S. Coulomb's Versuche bei Biot Traité. I. 501.

4 Vergl. unten *Elasticität der Flüssigkeiten.*

ändernden Kräften entgegensetzen. So hat eine Stahlfeder eine sehr hohe, ein Blech aus Zinn oder Blei eine sehr geringe Elasticität. Feste Körper zeigen sich in dieser Hinsicht vorzüglich merkwürdig. Alle sind nämlich elastisch, und in der ersten Bedeutung des Wortes auch in so fern anscheinend vollkommen elastisch, als sie bei einer geringen und kurzdauernden Veränderung ihrer Form diese vollständig wieder herstellen. Wächst aber die ihre Form verändernde Kraft, so wächst zwar auch der Widerstand, welchen sie derselben entgegensetzen, allein nur bis zu einer gewissen Grenze, über welche hinaus derselbe entweder ganz aufhört, indem sie zerbrechen, wie z. B. das Glas, oder geringer wird, und die Körper bei nachlassender Einwirkung ihr voriges Volumen nicht wieder erhalten. Fast alle Körper nämlich, mindestens die meisten Metalle, wenn sie als Drähte um ihre Längenaxe gedreht, ausgedehnt oder gebogen werden, kommen über diejenige Grenze hinaus, bis zu welcher sie ihre vorige Gestalt völlig wieder annehmen, ohne dafs dennoch ihre Cohäsion hierdurch überwunden wird, aufser das Glas, welches nach Robison [1] früher bricht, als es über diesen Punct hinaus kommt. Die Elasticität der Körper hat daher eine gewisse Grenze, und wenn sie über diese hinaus beschwert werden, so zerbrechen sie entweder sogleich, oder geben der einwirkenden Kraft stets mehr nach, bis der Zusammenhang ihrer Theile überwunden wird, welches Letztere dann am leichtesten geschieht, wenn eine Biegung abwechselnd nach verschiedenen Seiten wiederholt wird, weswegen man z. B. Drähte abbricht, indem man sie nach entgegengesetzten Seiten krumm biegt [2].

Ob die flüssigen Körper in der angegebenen Bedeutung des Wortes vollkommen elastisch sind, ist schwer zu entscheiden. Die *tropfbaren Flüssigkeiten* zuerst lassen sich durch einen sehr grofsen Druck nur wenig zusammendrücken, und ihr Widerstand scheint hierbei der zusammendrückenden Kraft jederzeit proportional. Liefsen sie sich sämmtlich in feste Körper verwandeln, und wären sie in diesem Zustande sämmtlich dichter als im flüssigen, so müfsten sie durch fortgesetzte Zusammendrückung zuletzt fest werden, und den Gesetzen der festen Kör-

---

1 a. a. O. p. 376.

2 Vergl. Coulomb in Mém. de l'Ac. 1784. p. 265. Tredgold Practical Essay on the strength of cast Iron. Lond. 1824. p. 2.

per unterliegen. Allein auch bei diesen letzteren zeigt sich die Grenze ihrer Elasticität nur dann, wenn sie nach der Länge ausgedehnt, gebogen, gedreht, oder so zusammengedrückt werden, daſs ihre Theile getrennt werden und seitwärts ausweichen können, indem sie, der einwirkenden Gewalt nachgebend, sich zerdrücken lassen. Bei tropfbaren Flüssigkeiten ist Letzteres unmöglich, indem sie stets in einen begrenzenden Raum eingeschlossen seyn müssen. Werden feste oder flüssige Körper unter dieser ebengenannten Bedingung zusammengedrückt, so läſst sich wegen der ungeheuern, hierzu erforderlichen Kraft durch die Erfahrung nicht ausmitteln, ob sie der zusammendrükkenden Kraft einen derselben stets proportionalen Widerstand entgegensetzen, oder vollkommen elastisch sind; wir wissen bloſs, daſs sie insgesammt dichter werden [1], und können aus theoretischen Gründen bloſs schlieſsen, daſs dieses nach der atomistischen Ansicht so lange fortdauern wird, bis sie den Zustand vollkommener Dichtigkeit erreicht haben, welchen wir indeſs nicht kennen, und also darüber nichts zu entscheiden vermögen.

Die expansibelen Flüssigkeiten endlich sind bis so weit vollkommen elastisch, als das *Mariotte'sche Gesetz* reicht. Indem dieses aber nicht allgemein gültig seyn kann, und auch die Erfahrung ergeben hat, daſs gewisse Gasarten durch wachsenden Druck tropfbar flüssig werden, der Analogie nach aber geschlossen werden kann, daſs dieses bei allen unter den geeigneten Bedingungen der Fall seyn wird [2], so läſst sich auch diesen Körpern die Eigenschaft der vollkommenen Elasticität nur bis so weit beilegen, als sie den Zustand der Expansion beibehalten.

II. Nähere Untersuchung der Elasticität.

Auſser diesen allgemeinen Betrachtungen ist es erforderlich, die Erscheinungen und Gesetze der Elasticität etwas näher zu untersuchen, und zwar zuerst, wie sie sich bei festen Körpern zeigen.

A. Feste Körper.

1. Die Elasticität der festen Körper zeigt sich zuerst, wenn man dieselben nach ihrer Länge ausdehnt. Hierüber sind al-

1 Vergl. *Dichtigkeit.*
2 Vergl. *Gas.*

lerdings viele Versuche angestellt, jedoch zunächst blofs in der Beziehung, um die absolute Cohäsion der verschiedenen Körper, also das Maximum desjenigen Gewichtes zu bestimmen, welches sie zu tragen vermögen, ohne zu zerreifsen, oder man hat gesucht, in näherer Beziehung auf die Elasticität, diejenige Last aufzufinden, wodurch sie nicht weiter ausgedehnt werden, als dafs sie sich bei nachlassender Dehnung wieder zu ihrem ursprünglichen Volumen zusammenziehen. Beide Arten von Untersuchungen, in Beziehung auf die Festigkeit der Körper von gröfster Wichtigkeit, sind bei der Aufsuchung der Cohäsionsgesetze [1] benutzt. Eigentliche Untersuchungen über die Gesetze der Elasticität bei der Spannung der Körper nach ihrer Länge, namentlich bei Metallsaiten, sind indefs nicht zahlreich vorhanden. Unter die vorzüglichern gehören die von s'Gravesande [2]. Die Saiten, deren Elasticität er untersuchen wollte, Fig. 21. wurden von dem Brette M N zwischen zwei Klemmen vermittelst der Schrauben V V' festgehalten, und so stark gespannt, dafs sie eine gerade Linie bildeten. Wird eine solche Saite A B dann in der Mitte mit einem Gewichte beschwert, so verlängert sie sich, und nimmt die Gestalt A C B an, und diese Verlängerung kann gemessen werden, wenn man die Sehne C c kennt. Zu diesem Ende schob s'Gravesande auf die Mitte der Saite das kleine Kupferblech o n, durch dessen oberes Löchelchen o die Saite gezogen war, am unteren Ende n aber hing mittelst eines Häkchens die kleine Waagschale W, welche mit verschiedenen Gewichten beschwert die Saite tiefer herabdrückte. Um das kleine Blech o n nebst der Waagschale W zu balanciren, war am oberen Ende des ersteren ein feiner Faden f angebracht, über die Rolle r geschlungen, und durch das Gegengewicht p balancirt. An der Rolle war zugleich der in seinem Schwerpuncte genau balancirte Zeiger d b befestigt, welcher mit seiner Spitze die Grade auf dem getheilten Kreise F G durchlief, und dadurch anzeigte, wie tief die Waagschale mit verschiedenen Gewichten beschwert herabgesunken war, welches die Gröfse c C angab. Damit diese Messung genau wird, zieht man nach Wegnahme der Saite A B die Waagschale W so-

---

1 S. *Cohäsion.*

2 Phys. Elem. math. I. p. 375. In der Darstellung folge ich Biot Traité. I. 470 ff.

weit herab, daſs sie den Boden genau berührt, beobachtet den Stand des Zeigers, legt unter die aufgehobene Waagschale einen Körper von genau gemessener Dicke, bringt sie mit diesem wieder in Berührung, und zählt die vom Zeiger durchlaufenen Grade.

Zu seinen Versuchen nahm s'Gravesande Claviersaiten 34,5 Z. lang und von einer Dicke, daſs diese Länge 24 Gran wog. Er gab derselben drei verschiedene Spannungen, indem er sie zwischen der Klemme V festschrob, und am andern Ende durch Gewichte straff ziehen lieſs, ehe er die Schraube V′ anzog. Durch verschiedene, in die Waagschale gelegte Gewichte drückte er dann die Saite um 0,04 bis 0,4 Z. herab. Um hieraus die Elasticität zu berechnen, muſs man auſser der Sehne Fig.
c C noch das Gewicht P kennen. Dabei läſst sich annehmen, 21.
daſs die beiden Theile A C und CB einander an Länge = R und an Spannung = T gleich sind, indeſs muſs auſser dem Gewichte P auch noch das sehr geringe Gewicht der Saite selbst mit in Rechnung genommen werden. s'Gravesande nimmt an, daſs die beiden Theile C A und C B einander gleich und gerade sind, und auf die beiden Unterstützungen A C und B C drücken. Wäre die Saite horizontal, so könnte man annehmen, daſs jeder Punct die Hälfte des ganzen Gewichtes, mithin C als doppelter Unterstützungspunct die Hälfte des Gewichts der ganzen Saite oder 12 Gran der gebrauchten trüge, und da die Sehne c C gegen die ganze Länge der Saite sehr klein ist, so läſst sich diese Voraussetzung auch bei der Berechnung als der Wahrheit genähert annehmen. Die von s'Gravesande aufgelegten Gewichte waren eine, zwei, drei und vier Drachmen, und da das eigene Gewicht der Saite 12 Gran = 0,2 Drachmen betrug, so war das gesammte Gewicht = P + 0,2 in Drachmen. Dieses Gewicht wurde balancirt durch die Elasticität der Saite = T oder ihrer beiden Theile A C und B C, welche aber nicht directe dem niederdrückenden Gewichte entgegenwirkten, sondern im Verhältnisse des Cosinus A B c, welcher $= \frac{C\,c}{A\,C}$ oder $\frac{C\,c}{B\,C}$ ist. Es wurde aber oben C c durch F und A C durch R bezeichnet, die Elasticität oder die Spannung der Saite aber durch T, folglich ist $T\,\frac{F}{R}$ der Widerstand, welchen die Spannung jedes Armes, A C und BC in der Rich-

tung Cc äuſsert, und das Gleichgewicht wird hergestellt seyn, wenn die spannende Kraft P + 0,2 der Summe der Widerstände gleich ist, welches $\frac{2\,T\,F}{R} = P\ 0{,}2$ giebt, wenn P in Drachmen ausgedrückt wird, woraus dann $T = \frac{(P + 0{,}2)\,R}{2\,F}$ gefunden wird.

Um hierin R zu finden, darf man nur berücksichtigen, daſs die Figur zwei rechtwinkliche Dreiecke bildet, in deren jedem A C und B C die Hypotenuse ist. Hieraus folgt, wenn A B = 2 L ist,

$$R^2 = L^2 + F^2 \text{ oder } R = \sqrt{(L^2 + F^2)}$$

und wenn man berücksichtigt, daſs die Sehne F in den Versuchen stets gegen L sehr klein war, so kann man $(L^2 + F^2)^{\frac{1}{2}}$ in eine genügend convergirende Reihe entwickeln, und in genähertem Werthe

$$R = L\left(1 + \frac{F^2}{L^2}\right)^{\frac{1}{2}} = L + \frac{F^2}{2\,L} - \frac{F^4}{8\,L^3}$$

setzen. In s'Gravesande's Versuchen war 2 L = 34,5 Z. und die gröſste Sehne c C = 0,4 Z., welches

$\frac{F^2}{2\,L} = 0{,}00463768$ und $\frac{F^4}{8\,L^3} = 0{,}0000006234$ giebt, und da die letztere Gröſse so klein ist, so kann

$$R = L + \frac{F^2}{2\,L} = L\left(1 + \frac{F^2}{2\,L^2}\right)$$

gesetzt werden, welches in die obige Gleichung substituirt

$$T = \frac{(P + 0{,}2)\,L}{2\,F}\left(1 + \frac{F^2}{2\,L^2}\right) \text{ giebt.}$$

Ist die Saite nicht schwerer als die von s'Gravesande gebrauchte, so ist $\frac{F^2}{2\,L^2} = 0{,}0002688$, welches bei dem gröſsten gebrauchten Gewichte von 86 Drachmen oder 5160 Gran nur $5160 \times 0{,}00026 = 1{,}34$ Gran, oder eine hierbei verschwindende Gröſse beträgt, und füglich vernachlässigt werden kann, so daſs also $T = \frac{(P + 0{,}2)\,L}{2\,F}$ oder für $L = \frac{34{,}5}{2}$ Z. genau genug $= 8{,}622\ \frac{(P + 0{,}2)}{F}$ gefunden wird.

In den drei Versuchen von s'Gravesande bei verschiedenen Spannungen der Saite waren

Spannungen der Saite	Gewichte in Drachmen P + 0,2	Länge der Sehne in Zollen = F
Geringere Spannung	3 36	0,04 0,40
Stärkere Spannung	8 70	0,05 0,40
Stärkste Spannung	8 86	0,04 0,40

Werden aus diesen drei Reihen die Spannungen zuerst für die geringeren Gewichte berechnet, so erhält man

1. Reihe ... $T = \frac{3 \times 8{,}625}{0{,}04} = 646{,}875$ Drachmen

2. Reihe ... $T = \frac{8 \times 8{,}625}{0{,}05} = 1380{,}000$ — —

3. Reihe ... $T = \frac{8 \times 8{,}625}{0{,}04} = 1725{,}000$ — —

Für die größeren Gewichte erhält man auf gleiche Weise in Drachmen

1. Reihe ... $T' = \frac{36 \times 8{,}625}{0{,}4} = 776{,}250 = T + 129{,}375$

2. Reihe ... $T' = \frac{70 \times 8{,}625}{0{,}4} = 1509{,}375 = T + 129{,}375$

3. Reihe ... $T' = \frac{86 \times 8{,}625}{0{,}4} = 1854{,}375 = T + 129{,}375.$

Diese Versuche ergeben, daſs die reagirenden Elasticitäten einer Metallsaite für gleiche Vermehrungen der Spannung, von welcher früheren man ausgeht, einander gleich sind, und da die Sehne bei allen drei vermehrten Gewichten 0,4 Z. betrug, so waren auch die absoluten Verlängerungen der Saite einander gleich, welches zu dem Satze führt, daſs wenn eine Metallsaite durch irgend ein Gewicht = T gespannt ist, eine Vermehrung des Gewichtes = t eine gleiche Verlängerung der Saite hervorbringen wird, welches auch die frühere Spannung durch T seyn mochte, vorausgesetzt, daſs die Saite nicht über die Grenze ihrer Elasticität hinaus ausgedehnt wurde, welches sich dadurch zeigt, daſs sie bei nachlassender spannender Kraft stets wieder zu ihrer ursprünglichen Länge zurückkehrt. Wenn man also unter

dieser letzteren Bedingung einer Saite durch irgend eine Kraft die Spannung T giebt, wodurch ihre Länge = L wird, und der Kraft fortwährend neue hinzufügt, deren jede eine Vermehrung der Spannung = t und der Länge = l erzeugt, so gehören zu den Spannungen T; T + t; T + 2t.... T + nt die Längen L; L + l; L + 2l.... L + nl, also sind *die Vermehrungen der Längen den Spannungen direct proportional.*

Den hieraus folgenden, für das Wesen der Elasticität sehr wichtigen Satz hat zuerst R. Hooke[1] als allgemein gültig aufgestellt, indem er es anfangs als Chiffer nach der Reihenfolge der Buchstaben bekannt machte, nämlich c e i i i n o s s s t t u u — und dieses später erklärte: *ut tensio sic vis.* Alle späteren Untersuchungen haben dieses Gesetz bestätigt, vorausgesetzt, dafs die Spannung der Körper nicht weiter geht, als soweit ihre Elasticität vollkommen scheint, indem ihre Theile über diese Grenze hinaus eine andere Lage gegen einander annehmen, und sich zwar elastisch zeigen, aber nicht wieder zu ihrem anfänglichen Volumen zurückkommen[2]. Eben dieses Gesetz gilt auch bei der Zusammendrückung der Körper, und es ist also überflüssig, die Erscheinungen der Elasticität für diesen Fall besonders zu untersuchen[3].

Aus den Versuchen von s'Gravesande über Saiten, welche an beiden Enden befestigt sind, alsdann angezogen werden und pendelartig schwingen, folgt, dafs die Schwingungen isochronisch erfolgen, wie grofs auch der durchlaufene Bogen seyn mag, ein bekannter Satz der Mechanik. Sind die Saiten ähnlich und gleich gespannt, aber von ungleicher Länge, so verhalten sich die Schwingungszeiten wie die Längen; sind sie übrigens gleich, aber von ungleicher Dicke, so verhalten sich die Zeiten wie die Durchmesser. Nennt man daher allgemein bei zwei gleichartigen Saiten P und p die spannenden Kräfte, L und l die Längen, D und d die Durchmesser, T und t die Schwingungszeiten, so ist

$$\frac{L^2 D^2}{T^2 P} = \frac{l^2 d^2}{t^2 p}.$$

1 Philos. Tracts and Collections. Lond. 1679. 4. Lect. of Springs. L. C.

2 Tredgold practical essay on the strength of cast iron. Lond. 1824. 117.

3 Young Lectures on Nat. Phil. I. 137.

Indem ferner bei Saiten ihre Massen, und somit auch ihre Gewichte sich verhalten wie die Producte ihrer Längen in die Quadrate ihrer Durchmesser, also, wenn ihre Gewichte G und g heifsen,

$$G : g = LD^2 : ld^2,$$

so ist auch $\frac{LG}{T^2 P} = \frac{lg}{t^2 p}$

oder $T^2 : t^2 = \frac{LG}{P} : \frac{lg}{p}$

das heifst: *die Quadrate der Schwingungszeiten verhalten sich wie die Producte der Längen in die Gewichte und umgekehrt wie die spannenden Kräfte.* Bei elastischen Blechen und Streifen finden die nämlichen Gesetze statt, weil man sie als vereinigte Saiten ansehen kann.

Auch mit dünnen Blechen stellte s'GRAVESANDE Versuche an, und gebrauchte dazu den oben beschriebenen Apparat. Er nahm nämlich eine nicht aufgewundene Uhrfeder, gleichfalls 34,5 Z. lang und 67 Gran schwer. Auch hierbei mufs also die Hälfte dieses Gewichtes zu dem in der Waagschale = P addirt werden, um die gesammte drückende Kraft zu finden. Bei der Kleinheit dieses Gewichtes gegen P nahm indefs s'GRAVESANDE in genähertem Werthe nur 30 Gran, oder 0,5 Drachme, um das Ganze in Drachmen auszudrücken, und sonach wird für lange Bleche

$$T = \frac{(P + 0{,}5)\ 8{,}625}{F}$$

wenn die übrigen Bezeichnungen, wie oben für Metalldrähte beibehalten werden.

Vier Reihen von Beobachtungen gaben folgende Gröfsen:

Spannungen des Bleches	Gewichte in Drachmen P + 0,5	Länge der Sehne in Zollen = F
Geringe Spannung	20 144	0,10 0,40
Stärkere Spannung	32 192	0,10 0,40
Noch stärkere Spannung	64 430	0,07 0,40
Stärkste Spannung	64 492	0,06 0,40

Diese Resultate nach der angegebenen Formel berechnet geben folgende Werthe:

1. Reihe T = 1725; T' = 3105 = T + 1380
2. Reihe T = 2760; T' = 4140 = T + 1380
3. Reihe T = 7885,71; T' = 9271,87 = T + 1386
4. Reihe T = 9200; T' = 10608,75 = T + 1408.

Die geringen Differenzen kommen als Theil des Totalgewichtes in Betrachtung, indem sie nicht mehr Hunderttheile desselben betragen würden, und man darf daher die Zunahmen der Spannung allgemein = 1380 setzen, welches, wie bei den Saiten eine Vermehrung der Länge = 0,00927536 Z. beträgt, so daſs also auch hieraus das oben gefundene Gesetz hervorgeht, wonach die Verlängerung der spannenden Kraft proportional ist. Solche Bleche lassen sich daher als eine Zahl neben einander liegender Drähte ansehen.

Wenn man diesemnach das hier aufgestellte Gesetz, nämlich daſs bei der Ausdehnung sowohl als auch bei der Zusammendrückung der verschiedenen Körper derjenige Widerstand, welchen sie vermöge ihrer Elasticität der einwirkenden Kraft entgegensetzen, dieser letzteren so lange direct proportional, und ihre Verlängerung oder Verkürzung diesemnach der Zunahme der Gewichte gleich ist, so lange sie nicht über die Grenze ihrer Elasticität hinaus beschwert werden, so ist es für die praktische Anwendung vorzüglich nützlich, für die verschiedenen Körper von einer gegebenen Dimension diejenigen Lasten durch Versuche aufzufinden, durch welche sie bis zu dieser Grenze gebracht werden[1], und den aliquoten Theil der Vermehrung oder Verminderung ihrer Länge, welcher diesem Gewichte zugehört. Beide Gröſsen hat man durch die zahlreichsten Versuche über die absolute Festigkeit der Körper zu bestimmen von jeher sich eifrigst bemühet, indem sie aber bei den Untersuchungen über die Cohäsion schon ausführlich erwähnt sind, so darf ich hier nur auf jenen Artikel verweisen[2].

---

1 T. Young Lectures I. 141. sagt: A permanent alteration of form limits e strength of materials with regard to practical purposes, almost as much as fracture, since in general de force which is capable of producing this effect, is sufficient, with a small addition, to increase it till fracture takes place.

2 S. *Cohaesion* II. 153 u. 164.

2. Die Elasticität der festen Körper zeigt sich zweitens, wenn dieselben mit beiden Enden auf einer festen Unterlage liegend in der Mitte, oder an einem Ende festgeklemmt am andern durch eine Last niedergebogen werden. Versuche hierüber sind in Menge angestellt, meistens aber nur gelegentlich, wenn man die relative Festigkeit erforschen wollte. Unter die absichtlich angestellten Versuche gehören die von Coulomb[1], welcher ein Stahlblech nahm, 11 Lin. breit 0,5 Lin. dick, dieses an einer Seite zwischen zwei eisernen Platten festklemmte und mit einer Klemmschraube an einem Tische in horizontaler Lage befestigte, an das andere Ende aber in einer Entfernung von 7 Z. ein Gewicht fügte und die Theile, um welche der Stahlstreifen niedergebogen wurde, an einer getheilten Scale mafs. Die gebrauchten Gewichte waren 0,5; 1 und 1,5 ℔, welche den gehärteten und nachher den bis zur blauen Farbe angelassenen Streifen 8; 15,5 und 23 +. Lin. herabdrückte, woraus also abermals hervorgeht, dafs die Elasticität der spannenden Kraft direct proportional ist. Viele ähnliche Versuche hat Beaufoy zugleich mit den Untersuchungen über die relative Festigkeit der Körper verbunden, und sich dazu der oben[2] beschriebenen Maschine bedient, welche wohl ohne Zweifel die zweckmäfsigste ist, indem der Zeiger genau die durchlaufenen Bogen angiebt, und der zu prüfende Stab allezeit in gleicher Entfernung von seinem Stützpuncte und in lothrechter Richtung auf sein eines Ende durch das Gewicht niedergedrückt wird. Aufserdem wird die Berechnung sehr dadurch erleichtert, dafs man durch das Gegengewicht sowohl das aufgesteckte Bogenstück und die Waagschale, als auch das eigene Gewicht des untersuchten Stabes balanciren kann, und demnach blofs die angehängten Gewichte zu beachten hat. Obgleich Beaufoy zunächst nur dasjenige Gewicht zu bestimmen suchte, wodurch die verschiedenen Stäbe zerbrochen wurden, so hat er zugleich doch auch das allgemeine Gesetz bestätigt gefunden, dafs die Biegungen innerhalb der Grenze der unveränderten Elasticität den drückenden Kräften direct proportional sind.

Verschiedenes, in Beziehung auf die Elasticität Wichtiges ist erörtert durch Tredgold bei einem erst neuerdings bekannt

---

1 Mém. de l'Ac. 1784. 266. Biot Traité I. 509.

2 Vergl. *Cohäsion* II. S. 151.

gewordenen Versuche über das Verhalten des Stahls bei verschiedenen Graden der Härtung. Coulomb schloſs nämlich aus seinen oben erwähnten Versuchen, daſs die elastische Kraft des Stahls bei verschiedenen Graden der Härtung gleich sey, und eben dieses folgerte Th. Young aus seinen Beobachtungen schwingender Stäbe [1]. Um diesen Satz zu prüfen, bediente sich Tredgold [2] einer Vorrichtung, welche mit der von s'Gravesande gebrauchten groſsen Aehnlichkeit hat, mit dem Unterschiede, daſs bei derselben die zur Untersuchung bestimmten Stahlstäbe auf Unterlagen von Eisen gelegt wurden. Der erste Stab von gemeinem Stahl *(blistered steel)* war 0,95 engl. Z. breit, 0,375 Z. dick und lag auf 13 Z. von einander abstehenden Unterlagen. Bei vier verschiedenen Graden der Härtung, der feilenharten, der tiefstrohgelben, der federblauen und ganz weich gemacht, zeigte der Stab gleiche Elasticität, sank herab mit 54 ℔ beschwert um 0,02 Z.

— 82 — — — 0,03

— 110 — — — 0,04

und zeigte keine bleibende Beugung, wenn er auch durch das letztere Gewicht einige Stunden hindurch beschwert blieb. Nimmt man mit geringer Abänderung die Reihenfolge dieser Gröſsen, so geben

27,5 ℔ eine Biegung = 0,01 Z.
2 × 27,5 = 55 ℔ — = 0,02 Z.
3 × 27,5 = 82,5 ℔ — = 0,03 Z.
4 × 27,5 = 110 ℔ — = 0,04 Z.

also ohne weitere Rechnnung eine regelmäſsige Folge. Der Stab wurde dann abermals stark gehärtet, zeigte die nämlichen Biegungen, und es gaben ferner

300 ℔ eine Biegung von 0,115 Z.
350 ℔ — — — 0,130 Z.
580 ℔ brach der Stab.

Das erste Gewicht hätte nach der oberen Progression 0,109 Z. Biegung geben müssen, indeſs scheint hierbei der Stab schon über die Grenze seiner vollständigen Elasticität belastet gewesen zu seyn, denn 350 ℔ gaben ihm eine bleibende Biegung von 0,005 Z., welche durch 10 ℔ Vermehrung bis 0,01 Z. zunahm.

1 In dessen Lectures II. 403.

2 Phil. Trans. 1824. II. 354.

Um mit einem längeren Stabe die feineren Unterschiede besser beachten zu können nahm TREDGOLD einen anderen Stab, von demselben Stahl, 0,92 Z. breit 0,36 Z. hoch, und entfernte die Unterlagen bis 24 Z. Zuerst wurde derselbe so weich gemacht, daſs er der Feile nachgab, und in diesem Zustande bewirkten

18,6 ℔	eine Biegung von	0,05	Z.
37	— — — —	0,10	—
47	— — — —	0,127	—

Nachdem der Stab gehärtet war, erhielt TREDGOLD die nämlichen Resultate. Er wurde dann strohgelb angelassen, und es gaben

47 ℔	eine Biegung von	0,127	Z.
85 ℔	— — —	0,230	—
130 ℔	— — —	0,350	—
150 ℔	— — —	0,400	—

Nimmt man hierbei 37 ℔ als Einheit; so gehört zu 130 ℔ eine Biegung von 0,351 Z. Bei dieser Belastung zeigte der Stab noch keine bleibende Veränderung, wohl aber bei 150 ℔, und zwar = 0,012 Z. Die Belastung wurde fortgesetzt, und es gaben

185 ℔	eine Biegung von	0,50	Z.
385 ℔	— — —	1,04	—.

Es ist merkwürdig, daſs beide Gröſsen die obige Reihenfolge genau geben, denn zu 185 ℔ gehören 0,500 und zu 385 ℔ 1,0405 Z., woraus folgt, daſs bei gestähltem Stahle, wie etwa auch beim Glase, die Elasticität bis zum Zerbrechen desselben stets regelmäſsig bleibt. Bei der letzten Belastung nämlich hörte man nach einer Minute ein leises Knacken, und ohne Vermehrung des Gewichtes brach der Stab nach 15 Minuten. Ausgemacht ist aber durch diese Versuche, daſs die elastische Kraft des Stahls bei jeder Härtung desselben gleich ist; es verhält sich aber die Festigkeit desselben bis zu derjenigen Grenze, wobei er eine bleibende Veränderung erleidet, zu der absoluten Festigkeit bei hartem Stahl wie 1 : 1,66; bei strohgelb angelassenem aber wie 1 : 2,56.

Von den übrigen zahlreichen Versuchen zur Bestimmung der relativen Festigkeit der Körper, bei denen zugleich die Gröſse ihrer Elasticität beobachtet wurde, können nur einige der wichtigsten hier namhaft gemacht werden. Dahin gehören die von

John Banks[1] mit Stäben von Gufseisen, welcher fand, dafs diese sämmtlich 3 engl. F. lang um 1 engl. Z. herabsanken, ehe sie zerbrachen, welches nebst der regelmäfsigen Zunahme der Biegung auf eine vorzüglich elastische Sorte schliefsen läfst. Rondelet[2] hat viele Versuche mit Stäben von 3,83 und 1,915 F. Länge zwischen den Unterlagen angestellt, woraus hervorgeht, dafs die Biegung nur so lange regelmäfsig wächst, als der Körper nicht über die Grenze seiner Elasticität beschwert wird. Diese Grenze liegt indefs oft bei den nämlichen Körpern sehr ungleich entfernt, was sich aus der verschiedenen Beschaffenheit derselben erklären läfst. So fand Tredgold, dafs Schmiedeeisen sich um 0,000714 seiner Länge ausdehnen läfst, ehe es über die Grenze seiner Elasticität hinaus kommt, Duleau[3] aber fand unter seinen zahlreichen Versuchen diese Gröfse einmal = 0,000441 als Minimum, ein anderesmal = 0,001167 als Maximum.

Viele Versuche mit einem zweckmäfsigen Apparate hat G. Rennie[4] angestellt, am zahlreichsten und genauesten aber, jedoch blofs mit Gufseisen, sind die von Tredgold[5], welcher zugleich auch fremde Versuche verglichen, und aus einer Reihe derselben dasjenige Gewicht gefunden hat, wodurch Gufseisen bis zur Gränze seiner Elasticität belastet werden darf, nämlich $\frac{10}{27}$, in einer andern $\frac{10}{34}$ derjenigen Last, wodurch dasselbe zerrissen wird, eine Bestimmung, welche mit der aus Bank's und Rennie's Versuchen erhaltenen übereinstimmt. Tredgold untersuchte auch das Verhalten des geschmiedeten Eisens. Hierzu nahm er Stäbe von nahe 1 Quad. Z. Querschnitt und 6 F. Länge, legte sie auf Unterlagen, welche 66,5 engl. Z. von einander abstanden, beschwerte sie mit verschiedenen Gewichten, und erhielt folgende Biegungen derselben gleichfalls in englischen Zollen:

---

1 On the Power of Machines. Kendal 1803. S. 96.

2 Traité Théorique et Pratique sur l'Art de Bâtir. Par. 1814. VI Tom. 4. IV. 514.

3 Essay théorique et expérimental sur la résistance du Fer forgé. Par. 1820. 4.

4 Phil. Trans. 1818. 1.

5 Practical Essay on the strength of cast Iron. S. 66 ff.

1. Bei englischem Eisen

Gewicht der Stäbe	Biegung in Zollen bei Belastung mit		
	58 ℔	114 ℔	170 ℔
33 ℔ — —	0,0625	0,10	0,1875
25 — — —	0,1250	0,25	0,3750
20 — — —	0,1500	0,32	0,5000
24 — — —	0,1250	0,25	0,3750
17 — — —	0,2500	0,50	0,8000

2. Bei schwedischem Eisen

Gewicht der Stäbe	Biegung in Zollen bei Belastung mit		
	58 ℔	114 ℔	170 ℔
32 ℔ — —	0,0625	0,125	0,190
27 — — —	0,0800	0,161	0,250
33 — — —	0,1250	0,250	0,375

Auch ohne nähere Berechnung sieht man bald, daſs das angegebene Gesetz durch die hierbei erhaltenen Gröſsen gleichfalls bestätigt wird. Daſs aber die Biegungen ungleich werden und unregelmäſsig wachsen, sobald die Körper über die Grenze ihrer Elasticität belastet werden, ersieht man deutlich aus denjenigen Versuchen, welche Tredgold mit Stäben von Glockenspeise anstellte, welche 0,5 Z. hoch, 0,7 Z. breit waren und auf Unterlagen von 12 Z. Abstand ruheten.

Sie gaben mit folgenden Gewichten die denselben zugehörigen Biegungen in engl. Zollen.

Gewichte.	Biegungen.	Gewichte.	Biegungen.
19 ℔	0,01	120 ℔	0,06
38 —	0,02	200 —	0,17
56 —	0,03	230 —	0,34
78 —	0,04	320 —	3,00
100 —	0,05		

So lange die Last nicht mehr als 100 ℔ betrug, wurde sie wiederholt abgenommen, ohne daſs eine Biegung merklich war, so oft aber die 120 ℔ aufgelegt und wieder weggenommen wurden, zeigte sich eine bleibende Biegung von 0,005 Z. Ein Stab von gegossenem Messing 0,45 Z. dick 0,7 Z. breit und auf 12 Z.

entfernten Unterlagen ruhend, gab mit folgenden Gewichten beschwert die zugehörenden Biegungen in engl. Zollen

Gewichte.	Biegungen.	Gewichte.	Biegungen,
12 ℔	0,01	52 ℔	0,04
23 —	0,02	65 —	0,05
38 —	0,03	110 —	0,18

Bei 52 ℔ Belastung zeigte der Stab nach der Wegnahme keine bleibende Biegung.

Diejenige Curve, welche ein elastischer, an beiden Enden unterstützter, durch ein aufgelegtes oder sein eigenes Gewicht herabgezogener Stab, oder ein an einem Ende eingeklemmter horizontaler, am andern Ende mit einem Gewichte belasteter bildet, heifst die elastische Curve (*curva elastica*; courbe elastique; *elastic curve).* Sie ist untersucht durch Jacob Bernoulli[1], und später durch seinen Neffen Daniel Bernoulli[2] durch L. Euler[3] und andere. Ist der an beiden Enden befestigte, durch sein eigenes Gewicht herabgezogene Körper eine vollkommen biegsame Linie (eine Kette), so ist die entstehende Curve eine Kettenlinie (*catenaria*; chainette; *catenary)* welche mit ihr verwandt und vielfach untersucht ist[4]. Sie gehören in das Gebiet der Mathematik.

3. Die Elasticität der Körper zeigt sich ferner durch den Widerstand, welchen sie einer Drehung um ihre Axe entgegensetzen (force de réaction de torsion, élasticité de torsion; *resistance to torsion, against twisting).* Dieser Gegenstand kommt vielfach in Betrachtung, theils als Grundlage der Drehwaage[5], theils bei der Construction der Wellen und Bäume der Maschinen, welche mit grofserer oder geringerer Kraft um diese ihre Längenaxe gedrehet werden.

1 Acta Erud. 1694. u. 1695.

2 Acta Petrop. 1729.

3 Methodus inveniendi curvas maximi minimique proprietate gaudentes. Genev. 1744. 4. Addit. II. Com. Pet. III. 70. Acta Petrop. III. II. 188. Lexel ebend. V. II. 207.

4 Joh. Bernoulli in Acta Erud. 1791. Bernoulli Opp. I. 48. III. 491. Gregory in Phil. Trans. XIX. 637. XXI. 419. Clairaut Mém. de Berlin. VII. 270. Kraft N. Com. Pet. V. 145. Legendre Acta Pet. 1786 20. u. v. a.

5 S. *Drehwaage.*

Hinsichtlich der ersteren haben wir die gehaltreichsten Untersuchungen von Coulomb[1], welche in der Hauptsache hier mitzutheilen nicht zweckwidrig seyn wird[2].

Die durch Coulomb befolgte Methode, die Elasticität langer Metalldrähte gegen eine Drehung um ihre Axe zu untersuchen, war folgende. Er hing an einen oben befestigten Draht SF einen Cylinder von Metall P so auf, daſs die Axe desselben FR mit der des Drahtes eine gerade Linie bildete, brachte unten einen Zeiger RL, und unter demselben einen getheilten Kreis an. Wurde dann der Cylinder um seine Axe gedrehet, so durchlief der Zeiger die der Drehung zugehörigen Grade auf dem getheilten Kreise. Ist hiernach AB ein Stück dieses in B befestigten Drahtes, und wird derselbe so um seine Axe gedrehet, daſs ein Streif seiner Oberfläche aus der Lage MA in die Lage mX gebracht wird, also der Punct A mit der Axe den dem Winkel ACX zugehörigen Bogen durchlaufen hat, so werden die Puncte M, M_1, M_2, M_3 .... an die Oerter m, m_1, m_2, m_3 .... gerückt seyn, und vermöge der anziehenden Kräfte, welche die Festigkeit des Körpers bedingen, wieder an ihre frühere Stelle zu kommen sich bestreben. Eben dasjenige, was hier über den einen Theil der Oberfläche ausgesprochen ist, gilt von allen Theilen des ganzen Drahtes. Würde der Bogen AX verdoppelt, so würde die Abweichung eines jeden der genannten Puncte von seinem früheren Orte verdoppelt werden, und nach dem oben über das Verhältniſs der Elasticität aufgefundenen Gesetze würde auch die Reaction der Theile gegen die drehende Kraft doppelt seyn, folglich muſs auch der ganze Draht mit doppelter Kraft der Drehung entgegenstreben. Denkt man sich um die Axe des Drahtes einen mit seiner Oberfläche concentrischen Kreis gezogen, um auf diesem die Winkel der Drehung zu messen, nimmt man ferner einen diesem Kreise zugehörigen Radius als Einheit an, auf welchen eine horizontale Kraft = n wirkend den Draht durch den Bogen = X umdrehet, so wird diejenige Kraft, welche den Draht nach dieser Drehung zum Stillstande bringt, oder der Reaction des Drahtes das Gleichgewicht hält = nX seyn. Bezeichnet man die halbe Peripherie des Kreises durch π und führt einen Radius = R statt der an-

Fig. 22.

Fig. 23.

1 Mém. de l'Ac. 1784.

2 Nach Biot Traité. I. 483.

genommenen Eiuheit desselben ein, so ist die elastische Kraft des Drahtes, welche der auf das Ende des an sich als nicht schwer gedachten Radius wirkenden drehenden Kraft entgegenstrebt $= \frac{\pi n X^{\circ}}{180 R}$. Hörte die Kraft auf zu wirken, so würden die Theile des Drahtes sich wieder in ihr früheres Gleichgewicht zu setzen streben, der Winkel X also abnehmen, zuletzt $= 0$ werden, dann aber vermöge der erhaltenen Bewegung nach der entgegengesetzten Seite übergehen, bei vollkommener Elasticität des Körpers und abgesehen vom Widerstande der Luft eine der vorhergehenden positiven gleiche negative Gröfse erhalten, und so die Bewegung ohne Ende fortsetzen. Indem ferner die Kräfte, welche den Körper sollicitiren, an den ursprünglichen Ort seiner Ruhe zurückzukommen, dem Abstande von diesem Puncte direct proportional sind, so würden diese Oscillationen alle in gleichen Zeiten geschehen, wie grofs auch der zu durchlaufende Bogen seyn möchte.

Behalten n und R die angenommenen Bedeutungen, und heifst M die Masse des oscillirenden Körpers, diese in einem einzigen Puncte vereinigt gedacht, π das Verhältnifs des Kreises zu seinem Durchmesser oder 3,14 . . ., T aber die Zeit einer einfachen Schwingung, so ist nach mechanischen Gesetzen[2]

$$T = \pi \sqrt{\frac{R^2 M}{n}}$$

Bezeichnet dann ferner dm ein Theilchen der Masse des Körpers, denkt man sich ein jedes in der Entfernung r vom Centro der Oscillation, und wird sonach die ganze Masse des Körpers mit dem Quadrate dieses Abstandes multiplicirt durch $\int r^2 dm$ ausgedrückt, so ist

$$T = \pi \left(\int \frac{r^2 dm}{n}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Es ist aber für einen in seiner Axe lothrecht aufgehangenen, um seine, mit der des tragenden Fadens zusammenfallenden Axe oscillirenden Cylinder das Trägheitsmoment

$$\int r^2 dm = \frac{M a^2}{2}$$

wenn a den Halbmesser seiner Peripherie bezeichnet, und wenn man statt des Cylinders einen dünnen Draht in der Mitte seiner

2 Poisson Traité de Mécanique I. 402.

Länge an dem Faden oder der Saite horizontal schwebend befestigt,

$$\int r^2 \, dm = \frac{M l^2}{3}$$

wenn l die halbe Länge desselben bezeichnet, und so erhält man für diese beiden Fälle die zwei Gleichungen

$$T = \pi \sqrt{\frac{M a^2}{2 n}} \text{ und } T = \pi \sqrt{\frac{M l^2}{3 n}}.$$

deren man sich zur Erforschung der Elasticität eines um seine Axe gedreheten Drahtes nach Coulomb's Methode bedienen kann.

Um in dieser Formel die Oscillationen gegebener Massen auf bestimmte Bewegungen in bekannten Zeiten zurückzubringen, darf man nur berücksichtigen, dafs bei fallenden und somit auch pendelartig oscillirenden Körpern die Geschwindigkeit $C = 2gt$ ist, wenn t die Zeit in Sexagesimalsecunden und g denjenigen Raum bezeichnet, welchen ein Körper in einer Secunde frei herabfällt. Wird die Gröfse g, im Mittel = 15,1 Par. F., in dem nämlichen Mafse ausgedrückt, worin a und l in den angegebenen Formeln genommen sind, M aber durch das Gewicht, und daher = P gesetzt, so wird für einen an dem Drahte aufgehangenen Cylinder:

$$n = \frac{P \pi^2 a^2}{4 g T^2} \text{ und also } T = \pi a \left(\frac{P}{4 g n}\right)^{\frac{1}{2}}$$

und für einen waagerechten Hebelarm:

$$n = \frac{P \pi^2 l^2}{6 g T^2} \text{ und also } T = \pi l \left(\frac{P}{6 g n}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Coulomb bediente sich bei seinen Versuchen der Drähte von Messing und von Eisen mit einem an ihnen aufgehangenen Cylinder. Die Beschaffenheit derselben zeigt folgende Uebersicht:

	Nr.	Gewicht einer Toise	Absolute	Festigkeit
Eisen	12	5 Grains	3 ℔	12 Unzen
	7	14 —	10 —	0 —
	1	56 —	33 —	0 —
Messing	12	5 —	2 —	3 —
	7	18,5 —	14 —	0 —
	1	66 —	22 —	0 —

Mit diesen erhielt er folgende Resultate.

	Nr.	Länge in Zollen	Gewicht des Cylinders in ℔	Grenze des Bogens für isochronische Schwingungen	Zeitdauer von 20 isochron. Schwingungen
Eisen	12	9	0,5	180	120
	12	9	2,0	180	242
	7	9	0,5	180	42
	7	9	2,0	180	85
	1	9	2,0	45	23
Messing	12	9	0,5	360	220
	12	9	2,0	360	442
	7	9	0,5	360	57
	7	9	2,0	360	110
	7	36	2,0	1080	222
	1	1	2,0	50	32

Indem der Durchmesser der aufgehangenen Cylinder stets 19 Lin. betrug, somit also a eine constante Gröſse ist, so muſs nach der Formel für n das Verhältniſs $\frac{P}{T^2}$ einen beständigen Werth geben, oder die Zeiten müssen sich verdoppeln, wenn das Gewicht vierfach wird. Daſs dieses so sey, geht aus den Versuchen hervor, indem das Verhältniſs der Gewichte von 0,5 : 2,0 die Verhältnisse der Zeiten = 120 : 242; 42 : 85; 220 : 442 und 57 : 110 mit der Formel nahe genug übereinstimmend giebt. Die gröſsere Ausdehnung der Saiten durch vermehrtes Gewicht hat also auf die Elasticität keinen Einfluſs, eben wie bei s'Gravesande's Versuchen ohngeachtet einer gröſseren Spannung der Saiten gleiche Vermehrungen der Gewichte gleiche Vermehrungen der Herabdrückung hervorbrachten. Inzwischen darf die Drehung gleichfalls nicht so stark seyn, daſs die Theile des Körpers eine andere Lage bleibend annehmen *(take a set)*, weil sonst n einen andern Werth erhält.

Der eine der erwähnten Versuche, wonach ein Messingdraht Nr. 7. von 9 Z. bei gleicher Länge des Cylinders für 20 Schwingungen 110, ein anderer von 36 Z. Länge hierzu 222 Secunden erforderte, ergiebt, daſs für ein Verhältniſs der Zeiten = 1 : 2 ein Verhältniſs der Längen = 1 : 4 gehört, oder aber die Zeiten

stehen im Verhältnisse der Quadratwurzeln der Längen, ein Satz, welchen Coulomb durch viele andere Versuche bestätigt fand[1]. Dafs ferner die Dicken der elastischen Fäden einen Unterschied herbeiführen, liegt schon in der Natur der Sache. Nimmt man aus den Versuchen die Resultate mit Drähten von gleicher Länge und gleicher Belastung, die Dicke derselben durch ihr Gewicht $= p$ ausgedrückt, so geben bei Eisendraht

Nr. 12 . . $p = 5$ gr., $T = 242$ Sec.
— 7 . . $p' = 14$ —, $T' = 85$ —
— 1 . . $p'' = 56$ —, $T'' = 23$ —

Sind die Gewichte und Schwingungszeiten einander umgekehrt proportional, so müssen die Producte pT, $p'T'$ . . . eine constante Gröfse geben. Wirklich ist $pT = 1210$; $p'T' = 1190$; $p''T'' = 1288$. Nimmt man aus allen das arithmetische Mittel $= 1230$, und sucht hiernach die Gewichte, so ist

Nr. 12 . . $p = \frac{1230}{242} = 5{,}08$ gr.
— 7 . . $p' = \frac{1230}{85} = 14{,}47$ —
— 1 . . $p'' = \frac{1230}{23} = 53{,}49$. —

Die Abweichungen sind so geringe, dafs man sie als Fehler der Beobachtungen ansehen kann, insbesondere da der Unterschied bei Nr. 1 am stärksten ist, welcher Draht übrigens durch das Gewicht wahrscheinlich nicht hinlänglich gespannt wurde. Nimmt man unter der Voraussetzung der Richtigkeit dieses Gesetzes Drähte des nämlichen Metalles von gleicher Länge, so ist das Gewicht p derselben dem Quadrate der Durchmesser proportional, und somit sind die Zeiten der Oscillationen diesen Quadraten umgekehrt proportional, und da nach der oben aufgestellten Formel die Gröfse n den Quadraten der Zeiten gleichfalls umgekehrt proportional ist, so steht sie auch im umgekehrten Verhältnisse der 4ten Potenz der Durchmesser der Drähte[2]. Heifst also die Länge des Drahtes l, der Durchmesser desselben d und wird ein von der Steifheit des Metalles abhängiger Coefficient durch μ bezeichnet, so ist

$$n = \frac{\mu\, d^4}{l} \text{ also } \mu = \frac{n\, l}{d^4}.$$

wonach μ für ein beliebiges Metall gefunden werden kann, wenn

1 Ein gleiches Gesetz fand Chladni bei den Transversalschwingungen elastischer Stäbe. Vergl. *Schall*.

2 Auf eine andere Weise ist dieser Satz bewiesen in John Leslie Elements of Nat. Phil. Edinb. 1824. 8. I, 244.

man n l und d in einem gegebenen Falle gefunden hat. Wird dieses auf den oben angegebenen zweiten Fall mit Eisendraht Nr. 12 angewandt, worin $P = 2$ ℔, $a = 9{,}5$ Lin. und für 20 Oscillationen $T = 242''$ also für eine Oscillation $T = 12'',1$ waren, und werden diese Werthe in die Formel $n = \frac{P \pi^2}{4 g} \frac{a^2}{T^2}$ substituirt, die Linie als Einheit des Längenmaſses und das Pfund als Einheit des Gewichtes angenommen, so ist $n = \frac{1}{714{,}7}$ ℔, d. h. diese letztere Gröſse, lothrecht gegen einen Hebelarm von der Länge einer Linie wirkend, würde eine Saite von der gegebenen Länge und Beschaffenheit durch einen Bogen von der Länge einer Linie, den Kreis selbst mit dem Halbmesser = 1 Lin. gezogen, um ihre Axe zu drehen im Stande seyn. Wollte man sie aber um einen Bogen $= X^\circ$ vermittelst eines Hebelarmes = R drehen, so würde die dazu erforderliche Kraft $= \frac{\pi n X^\circ}{180 R} = \frac{\pi X^\circ}{714{,}7 \times 180 R}$ ℔ seyn.

Ist hiernach n bekannt, so wird μ aus der angegebenen Formel leicht gefunden, sobald der Durchmesser des Drahtes = d bestimmt ist, dessen Gröſse entweder durch unmittelbare Messung gefunden, oder aus der Länge desselben, seinem Gewichte und dem specifischen Gewichte der Substanz berechnet werden kann.

Als Beispiel der Rechnung diene das von Biot[1] aus Coulomb's Versuchen genau berechnete. Um hierbei zuvörderst den Durchmesser des angewandten Drahtes aus seinem Gewichte zu finden, sey A das Gewicht eines Kubikfuſses der Masse, woraus der Draht besteht, oder zur Reduction auf Linien als Einheit von $(144)^3$ Lin. Der Draht, als Cylinder betrachtet, hat ein Volumen $= r^2 \pi L$, wenn L die Länge, r den Halbmesser und π die Verhältniſszahl des Kreises bezeichnet. Hiernach ist

$$r^2 \pi L = \frac{(144)^3 p}{A} \text{ und also } r = \sqrt{\frac{(144)^3 p}{\pi L A}}$$

wenn p, das Gewicht des Drahtes, und A in gleichen Gewichtstheilen genommen werden. Von dem Eisendraht Nr. 12 wogen 6 F. oder 864 Lin. 5 grains = p. Ein Kubikfuſs Eisen wiegt etwa 540 ℔, wonach (das ℔ = 16 Unzen, die Unze = 8 gros,

1 a. a. O. S. 498.

das gros = 72 grains genommen) A = 540 . 16 . 8 . 72 grains Beträgt. Dieses substituirt giebt

$$r = \sqrt{\frac{5.(144)^3}{3,14 . 864 . 540 . 16 . 8 . 72}} = \tfrac{1}{30} \text{ Lin.}$$

also ist d = $\frac{1}{15}$ Lin. Die Länge l des im Versuche gebrauchten Drahtes betrug 9 Z. oder 108 Lin. Diesen Werth, und den oben für n gefundenen = $\frac{1}{715}$ substituirt ist

$$\mu = \frac{n\,l}{d^4} = \frac{1}{715} \cdot \frac{108}{(\frac{1}{15})^4} = \frac{15^4 . 108}{715} = 7646,9.$$

Für jeden andern Eisendraht von der nämlichen Beschaffenheit, aber vom Durchmesser = d' und von einer Länge = l' wäre also

$$n = 7646,9 \, \frac{d'^4}{l'}.$$

Sucht man auf die nämliche Weise, wie dieses oben für Eisen geschehen ist, auch für Messing den Werth von n', so war für den Messingdraht Nr. 12 mit einem Cylinder von 2 ℔ Gewicht belastet

a = 9,5 Lin.; P = 2 ℔; T = 22,1 Sec.

Dieses in die Formel substituirt, wird

$$n' = \frac{P \pi^2 a^2}{4 g T^2} = \frac{1}{2384,2}.$$

Das Verhältnifs von n zu n' ist also 2384,2 : 714,7 oder nahe 3,34 : 1. d. h. man bedarf nur $\frac{1}{3,34}$ des Gewichtes, um einen Messingdraht unter gleichen Bedingungen auf gleiche Weise um seine Axe zu drehen, als für einen Eisendraht erforderlich ist. Die Elasticität des Eisendrahtes ist also rücksichtlich der Stärke des Widerstandes 3,3mal gröfser als des Messingdrahtes, obgleich seine absolute Festigkeit nur 1,7mal gröfser gefunden war.

Es ist oben [1] schon angeführt, dafs die elastischen Körper, wenn sie eingedrückt, gebogen oder gedreht werden, nicht allezeit mit vollkommener Elasticität und ohne einigen Verlust zur früheren Lage ihrer Theile wieder zurückkommen, eine Erscheinung, welche mit Grunde aus einer Reibung ihrer Theile an einander bei der Herstellung der ursprünglichen Lage, und aus der hierzu verwandten Kraft abgeleitet wird. So lange indefs die einen Körper verändernde Kraft das Mafs seiner Ela-

---

1 S. *allgemeine Betrachtungen.*

sticität nicht übersteigt, wird er die ursprüngliche Lage seiner Theile wieder erhalten, soweit dieses durch Messung bestimmt werden kann. Diesemnach muſs, rücksichtlick auf die Elasticität gegen Drehung, ein an einer lothrecht aufgehangenen Saite oscillirender Körper stets kleinen Bogen durchlaufen, und endlich auf seinem ursprünglichen Orte zum Stillstande kommen. Coulomb untersuchte bei einem Eisendrahte von No. 1, welcher 6,5 Z. lang und mit einem Gewichte von 2 ℔ belastet war, die Abnahme der durchlaufenen Bogen, indem er die Oscillationen zählte, nach denen der von der Spitze des Zeigers am Cylinder durchlaufene Bogen um 10° vermindert wurde, wobei er von einem Drehungswinkel = 90° ausging, die Oscillationen zählte, bis dieser = 80° wurde, dann denselben weiter bis 45° abnehmen lieſs, und abermals die Oscillationen zählte, bis derselbe = 35° wurde u. s. w. Hierdurch erhielt er folgende einander zugehörige Gröſsen:

Drehungswinkel	Zahl der Oscillationen.
90° 00′	3,5
45° 00′	10,5
22° 30′	23,0
11° 15′	46,0

Man sieht bald, daſs die für eine Abnahme von 10° erforderliche Zahl der Oscillationen bei kleinen Bogen der Gröſse dieser letzteren umgekehrt proportional ist, bei gröſseren Oscillationsbogen aber eine bedeutende Abweichung von diesem Gesetze zeigt. Der Thatsachen sind indeſs zu wenig vorhanden, um ein allgemeines Gesetz hierüber aufzufinden. Versuche mit einem Messingdrahte von gleicher Länge, Dicke und Belastung gaben ein gleiches Resultat. Es gehörten nämlich hierbei folgende Werthe einander zu:

Drehungswinkel	Zahl der Oscillationen
90° 00′	6
45° 00′	16
22° 30′	40
11° 45′	80

Uebersteigt die den Körper verändernde Kraft das Maſs seiner Elasticität, so wird ihren Theilen eine bleibende Veränderung ihrer Lage mitgetheilt (*take a set*), und sie kommen nicht wieder zu ihrer ursprünglichen Stelle zurück, wenn die Kraft zu wirken aufhört, zerbrechen aber, wenn ihre Wirkung

fortdauert. Coulomb drehete den oben beschriebenen Eisendraht zunehmend mehr um seine Axe, liefs nach jeder neuen Drehung den Cylinder an demselben oscilliren, bis er zum Stillstande kam, drehete ihn dann abermals um seine Axe, bemerkte jederzeit den Stillstandspunct und dessen Abweichung vom vorigen Standpuncte, und fuhr damit fort, bis der Draht brach. Die hierbei erhaltenen Gröfsen zeigt folgende Zusammenstellung, worin P den ganzen Umfang des Kreises bedeutet:

Grade der Drehung.	Abweichung des Zeigers vom Anfangspuncte.	Summe der Abweichungen vom ursprünglichen Standpuncte an.	Grenze der Elasticität der Saite.
½ P	8°	8°	172°
P	50	58	310
2 P	310	P + 8	P + 50
3 P	P + 300	2 P + 308	P + 60
4 P	2 P + 290	5 P + 238	P + 70
5 P	3 P + 280	9 P + 158	P + 80
6 P	4 P + 260	14 P + 58	P + 100
10 P	8 P + 240	22 P + 298	P + 120
14 P	Zerbrechung		

Der Draht brach in der Mitte, und hatte die Gestalt eines aus zwei Strängen gewundenen Seiles. Die letzte Columne ist durch Subtraction der zweiten von der ersten erhalten, und giebt an, wie weit der Zeiger beim Stillstande hinter seinem ursprünglichen Stande zurückblieb. Aehnliche Versuche mit dem schon erwähnten Messingdrahte gaben folgende Resultate:

Grade der Drehung	Abweichung des Zeigers vom Anfangspuncte.	Summe der Abweichungen vom ursprünglichen Standpuncte.	Grenze der Elasticität der Saite.
2 P	160°	160°	P + 200°
4 P	2 P + 0	2 P + 160	2 P + 0
6 P	3 P + 300	6 P + 100	2 P + 60
10 P	7 P + 300	14 P + 40	2 P + 60
20 P	17 P + 340	32 P + 20	2 P + 20
28 P	Zerbrechung		

In diesem Sinne ist also die Elasticität des Messings grösser als die des Eisens.

So wie die Erforschung der Elasticität der verschiedenen Körper, welche sie gegen eine ausdehnende oder zusammendrückende und eine beugende Kraft ausüben, vorzüglich deswegen vielfach angestellt ist, um die Lasten zu kennen, welche dieselben auf die eine oder die andere Weise zu tragen vermögen [1], so hat man auch diejenige Stärke der verschiedenen Körper untersucht, womit sie einer sie um ihre Axe drehenden Gewalt Widerstand leisten. Inzwischen sind Versuche hierüber ungleich seltener als diejenigen, welche zu Erforschung der absoluten, relativen und rückwirkenden Festigkeit der Körper angestellt wurden, und sie machen meistens nur eine unbedeutende Zugabe zu diesen aus [2]. Die wichtigsten und am meisten brauchbaren Resultate werden unten bei den praktischen Anwendungen benutzt werden. Im Allgemeinen ist das Verhalten der Körper hierbei so, dafs die mittleren Theile ruhen, die äufsern aber um so weiter verrückt werden, je gröfser ihr Abstand vom Centrum ist. Denkt man sich aber gröfserer Bestimmtheit wegen einen Cylinder, und nimmt an diesem eine Reihe von Theilchen, welche mit der Axe parallel laufen, so müfste diese durch die Drehung verlängert werden, welches auch allerdings der Fall ist. Wegen des Widerstandes aber, welchen sie einer solchen Ausdehnung nach den Gesetzen der Cohäsion entgegensetzen, drücken sie die mittleren zusammen, und es findet also im Allgemeinen eine Verkürzung Statt. Nach Young [3] wird hierbei ein Draht um den vierten Theil soviel verkürzt, als die äufseren Theile sich verlängern müssen, wenn die ganze Länge unverändert bliebe, wonach die Kraft dem Cubus des Drehungswinkels proportional seyn müfste. Da dieser aber nur der einfachen Potenz des Drehungswinkels der Erfahrung nach proportional ist, so folgert er hieraus, dafs keine absolute Längenausdehnung der Theile, sondern hauptsächlich

1. S. *Cohäsion*.

2 Für die Literatur dienen die unter dem Artikel *Cohäsion* angegebenen Werke über die Festigkeit der Körper Th. II. Ueber das Verhalten des Gufseisens s. Tredgold practical Essay on the strength of cast Iron. p. 96.

3 Lectures on Nat. Phil. I. 141.

oder blofs eine laterale Verschiebung derselben, eine Ueberwindung der Starrheit, statt findet.

B. Elasticität der tropfbaren Flüssigkeit.

Die Frage, ob die tropfbaren Flüssigkeiten, und unter ihnen namentlich das Wasser elastisch seyen, hat die Gelehrten von den frühesten Zeiten an beschäftigt. Wenn man nach theoretischen Gründen berücksichtigt, dafs die Körper ihre Natur und Wesen nicht ändern, wenn sie auch durch stets vermehrte Wärme zuerst stärker ausgedehnt und dann tropfbar flüssig werden, so mufs man sie hiernach schon für elastisch halten, weil gar kein Grund vorhanden ist, warum sie diese ihnen im Zustande der Festigkeit zukommende Eigenschaft durch den Uebergang zur tropfbaren Flüssigkeit verlieren und als expansibele Flüssigkeiten in einem so hohen Grade wieder erhalten sollten. Man hat indefs nicht sowohl auf diese Weise argumentirt, als vielmehr die Frage auf dem Wege des Experimentes zu beantworten gesucht, wahrscheinlich weil Franz Baco von Verulam auf diesem vorangegangen war. Dabei ist es übrigens unverkennbar, dafs die Theorieen, woraus Cartesius und Newton die Elasticität der expansibelen Flüssigkeiten zu erklären versuchten [1], zugleich auf die Frage führen mufsten, ob auch den tropfbaren Flüssigkeiten diese Eigenschaft zukomme, da man dieselbe bei diesen ungleich weniger beobachtet, als bei jenen, oder sie vielmehr ohne künstliche Vorrichtungen gar nicht wahrnimmt. Hauptsächlich aber führten zwei bekannte Phänomene zur näheren Untersuchung dieser Sache, nämlich erstens die Beobachtung das Ricochettirens solcher Körper, welche unter einem spitzen Winkel gegen die Oberfläche des Wassers geworfen werden, und zweitens die Sinneswerkzeuge des Gehörs der Fische, welche ohne eine Fortleitung der Schallwellen durch das Wasser ohne Nutzen seyn würden, woraus man also indirect die Elasticität desselben folgerte. Indem dieser letztere Gegenstand zunächst zur Lehre vom Schalle gehört [2], so übergehe ich ihn hier ganz, um so mehr, als die Frage selbst bereits auf einem andern Wege hinlänglich entschieden ist. Ob

---

1 Vergl. *Expansibilien.*

2 S. *Schall; Fortpflanzung desselben durch tropfbare Flüssigkeiten.*

das Ricochettiren der Körper auf der Wasserfläche die Elasticität der tropfbaren Flüssigkeiten beweise, darüber ist lange gestritten. Vorzüglich suchte BELLOGRADI [1] die Elasticität des Wassers sowohl hieraus, als auch aus dem Aufspringen der Wassertropfen von einer Wasserfläche oder einem Marmorblocke, worauf sie herabfallen, darzuthun. Hiergegen erklärte sich SPALLANZANI [2], sprach dem Wasser fast alle Elasticität ab, erklärte das Abprallen fester Körper vom Wasser aus dem Widerstande des letzteren und dadurch veränderte Richtung in der Bewegung der ersteren, das Emporfliegen von Wassertropfen, wenn Wasser oder feste Körper in diese Flüssigkeit geworfen werden, aus dem Seitendrucke der verdrängten einzelnen Schichten, das Aufspringen von Wassertropfen aber von einer Marmorplatte, auf welche man sie herabfallen läſst, aus der Elasticität der letzteren allein. Obgleich SPALLANZANI seine Behauptungen mit den Resultaten seiner Versuche unterstützte, wonach geworfene Körper auch von weichem Thone, zähem Schlamme und Eiergelb abprallen, so begreift man doch bald, daſs dieses Argument eigentlich nichts sagt, weil die letzteren Körper gleichfalls elastisch seyn können und vielmehr seyn müssen, insofern ihnen eine Menge Wasser beigemischt ist. Dem Aufspringen der Wassertropfen von Steinen, worauf sie fallen, stellte SPALLANZANI das Argument entgegen, daſs auch unelastische Körper durch eine gespannte Saite zurückgeworfen würden, und er setzte die Ursache dieser Wirkung also eigentlich in die Elasticität der Steine. Allein die Wassertropfen springen auch von einer Wasserfläche zurück, welches zwar zuweilen, aber nicht allezeit eine Folge der comprimirten Luft ist, und die Art und Höhe ihres Aufspringens ist überhaupt eine ganz andere, als wenn nur wenig elastische Bleikugeln z. B. von einer Glasplatte zurückspringen, wodurch die Elasticität der Flüssigkeiten schon genügend erwiesen ist [3].

Rücksichtlich auf die Versuche, wodurch man die Elasticität des Wassers anfangs bloſs zu beweisen, später die Stärke derselben zu messen suchte, sind die wichtigsten derselben

---

1 Della Riflessione de' Corpi dall Acqua u. s. w. In Parma 1753. 4.

2 Physikalische und mathematische Abhandlungen. 5te Abh.

3 Ueber die Herleitung des gleichen Niveau's tropfbarer Flüssigkeiten in communicirenden Röhren aus ihrer Elasticität vergleiche Art. *Hytrostatik*.

schon früher erwähnt [1]. Es wird hier also genügen, nur die erhaltenen Resultate anzugeben, um daraus die Stärke der Elasticität tropfbarer Flüssigkeiten zu finden. Zu den Versuchen von Baco, der *Florentiner Akademie,* Boyle, Musschenbroek u. a., welche gar kein Resultat gaben oder vielmehr das Wasser als völlig unelastisch zeigten, gehören auch diejenigen, welche Franc de Lanis [2] in Vorschlag brachte. Man soll ein hohes gläsernes Gefäfs mit Wasser füllen, worin kleine Kügelchen von unmerklich gröfserem spec. Gew. als das Wasser ist, gerade niedersinken, dann eine Thierblase überbinden und das Wasser mit dem Finger zusammeudrücken, damit es dichter werde, und die Kügelchen aufsteigen. Will man diesen Versuch auch sinnreich nennen, so ist er doch in der hier angegebenen Art ganz unzulässig und auch keiner Verbesserung fähig, weil es keinen bekannten festen Körper giebt, welcher weniger compressibel ist als das Wasser, und daher sein spec. Gew. gegen das Wasser in demselben befindlich auf die hier angegebene Weise ändern könnte.

Die ersten Versuche, welche richtige Resultate gaben, sind die um 1762 durch Canton angestellten [3]. Er wurde dabei durch eine neuerdings bei der Construction der Thermometer wieder in Anregung gebrachte Beobachtung geleitet, indem er fand, dafs Flüssigkeiten in einer Röhre mit einer Kugel höher standen, wenn der Apparat luftleer war, als wenn die Luft auf die Flüssigkeit drückte, wobei er annahm, dafs diese Verminderung des Volumens eine Folge des Luftdruckes gegen dieselbe sey, da sie vielmehr hauptsächlich der Elasticität des Glases beizumessen ist. Inzwischen bestimmte diese Beobachtung die Methode, welche Canton bei seinen Versuchen befolgte, indem er eine Kugel mit einem Rohre, welches in ein Haarröhrchen endete, und wobei das Inhaltsverhältnifs der einzelnen Theile genau bekannt war, mit den zu untersuchenden Flüssigkeiten füllte, unter eine Glasglocke setzte, und unter dieser die Luft erst exantlirte, dann comprimirte, um die Vermehrung und Verminderung des Volumens als Folge des aufgehobenen oder verstärkten Luftdruckes kennen zu lernen. Auf

1 S. Compressionsmaschinen für Wasser. Th. II. S. 220 ff.
2 Magisterium naturae et artis. Brixiae 1686. Fol. p. 176.
3 Phil. Trans. LII. II. 641.

dieso Weise fand Canton, dafs ein Druck, doppelt so stark als der atmosphärische, das Volumen des Wassers um $\frac{1}{10870}$ seines Volumens verringerte, ohne dafs ein Unterschied bemerkbar war, das Wasser mochte lufthaltig seyn oder nicht. Canton will ferner gefunden haben, dafs das Wasser im Winter (also bei niedrigerer Temperatur) sich stärker zusammendrücken lasse als im Sommer, welches bei Weingeist und Baumöl sich gerade umgekehrt zeigte. Bei 27,66 P. Z. Barometerstand und 10° C. Temperatur erhielt er durch den Druck *einer* Atmosphäre folgende Verminderungen:

Bei	Weingeist	—	0,000066	des Volumens	
—	Baumöl	—	0,000048	—	—
—	Regenwasser	—	0,000046	—	—
—	Seewasser	—	0,000040	—	—
—	Quecksilber	—	0,000003	—	—

Es ergiebt sich hieraus, dafs die dichtesten Flüssigkeiten am wenigsten zusammendrückbar sind, jedoch ohne ein bestimmtes Verhältnifs zwischen den Dichtigkeiten und den Graden der Compressibilität. Dafs übrigens die Flüssigkeiten in so fern vollkommen elastisch sind, als sie beim nachlassenden Drucke ihr voriges Volumen wieder einnehmen, ist oben schon erwähnt.

Canton's Versuche haben lange Zeit als einzige Autorität gegolten, und verdienen diesen Vorzug mit Recht, indem sie durch einige spätere nicht erreicht, durch die neuesten aber nur bestätigt sind. Zu erwähnen sind vorzüglich die durch Herbert [1] und die noch viel bekannteren durch Abich angestellten Versuche, welche Zimmermann [2] beschrieben kat. Die Maschine, deren er sich hierbei bediente, ist früher [3] schon beschrieben und dabei gezeigt, dafs mit derselben unmöglich genaue Resultate zu erhalten waren, obgleich der Herausgeber der Schrift die Unvollkommenheiten des Apparates und die hieraus nothwendig entspringenden Fehler zu entschuldigen sucht. Es würde daher überflüssig seyn, mehr als die Resultate, und diese blofs des geschichtlichen Interesses wegen, her-

1 Diss. de aquae aliorumque nonnullorum fluidorum elasticitate. Viennae 1774. 8.

2 Ueber die Elasticität des Wassers theoretisch und historisch entworfen von E. A. W. Zimmermann. Leip. 1779.

3 S. *Compressionsmaschine* Th. II. S. 223.

zusetzen, welche ohnehin nicht mit den durch Canton erhaltenen übereinstimmen. Abich fand nämlich die Zusammendrückung von 26,75 Kub. Zoll

	durch den Druck von	
	745,181 ℔	2509,591 ℔
bei Brunnenwasser . .	$\frac{1}{142,66}$	$\frac{1}{31,667}$
— satur. Salzwasser .	$\frac{1}{103,43}$	$\frac{1}{33,909}$
— Milch	$\frac{1}{213,21}$	$\frac{1}{36,698}$
— Branntwein . . .	$\frac{1}{224,76}$	$\frac{1}{43,66}$

Wenn man annimmt, daſs die Zusammendrückungen sich wie die Gewichte verhalten, so würde der Druck *einer* Atmosphäre das Wasser um 0,000075 seines Volumens comprimiren, also weit mehr, als Canton gefunden hat, wie dieses aus der Beschaffenheit des gebrauchten Apparates nothwendig folgt. Daſs aber Branntwein weniger und saturirte Salzsolution mehr compressibel seyn sollte als Brunnenwasser, streitet nicht bloſs gegen Canton sondern auch gegen jede Theorie, und überhaupt ist die Mangelhaftigkeit der Versuche und ihrer Resultate ausführlich geprüft durch F. G. Busse [1].

Die neuesten Versuche, die Gröſse der Elasticität des Wassers zu finden, sind durch Perkins und Oerstedt angestellt. Ersterer bediente sich hierzu des von ihm sogenannten *Piezometer's*, dessen doppelte Einrichtung am gehörigen Orte beschrieben ist [2]. Mit dem ersteren, nach seiner Meinung unvollkommener eingerichteten Apparate glaubte er gefunden zu haben, daſs die Gröſse der Zusammendrückung des Wassers durch 100 Atmosphären nahe 0,01 seines Volumens betrage, allein Roget [3] zeigt durch eine genauere Berechnung, daſs sie nur 0,0047 beträgt, und also nur um 0,000001 von Canton's Bestimmung abweicht. Nach Gilbert's [4] Berechnung beträgt die gesuchte Gröſse 0,0048, also findet auch hier nur eine Ab-

1 Gang und Gröſse der Weichheit des Wassers aus den Versuchen des Hrn. Zimmermann gefolgert. Leipz. 1806. 8. Oerstedt bei Schweigg. J. XXI. 348 will durch Verbesserung der Rechnungsfehler mehr Uebereinstimmung in die Versuche gebracht, und die Zusammendrückung fast dreimal so groſs als Canton gefunden haben, welches aber mit seinen spätern Versuchen nicht übereinstimmt.

2 S. *Compressionsmaschine* Th. II. S. 224.

3 Ann. of Phil. N. S. II. 135.

4 Ann. d. Phys. LXXII. 176.

weichung von 0,000002 statt, und es spricht sehr für die Genauigkeit beider Versuche, dafs sie nach so ganz ungleichen Methoden angestellt, so übereinstimmende Resultate gegeben haben. Die späteren, mit dem verbesserten *Piezometer* angestellten Versuche gaben dagegen durch einen Druck von 329 Atmosphären eine Vermehrung des Gewichtes von 3,5 Procent, welches eine Zusammendrückung durch 100 Atmosphären von fast 0,01064 des Volumens giebt. Diese letztere übertrifft die erstere um mehr als das Doppelte, und mufs daher fehlerhaft seyn, auch ist es leicht möglich, dafs beim Eindringen des Wassers in den Cylinder Luftbläschen in den Ecken zurückblieben, welche man seiner Undurchsichtigkeit wegen nicht gut bemerken konnte. Perkins's Apparat steht auf allen Fall dem einfachen und leicht zu handhabenden Canton's nach. Wirklich sind auch die von diesem erhaltenen Resultate vollständig durch diejenigen bestätigt, welche Oerstedt [1] mit dem von ihm sehr zweckmäfsig construirten Apparate erhalten hat, wonach die Gröfse der Volumensverminderung des Wassers der comprimirenden Kraft directe proportional gefunden ist, und für 100 Atmosphären 0,0047 beträgt, das ursprüngliche Volumen als Einheit angenommen.

III. Theorie.

Da die bisher erörterten Thatsachen darthun, dafs die Elasticität der Körper auf der Lage ihrer Theile und ihrem gegenseitigen Verhältnisse beruhe, wir aber weder die Elemente der Körper noch auch ihre Abstände von einander und die individuelle Art ihrer Zusammenfügung genau kennen, so ist nur geringe Hoffnung vorhanden, dafs es uns gelingen sollte, das Wesen dieser Eigenschaft genau zu erforschen. Indefs können wir dieselbe mit andern Erscheinungen und erkannten Naturgesetzen in Uebereinstimmung bringen.

Früher leitete man diese Eigenschaft von der Luft her, welche in den Zwischenräumen der Körper eingeschlossen seyn, und durch ihre Reaction gegen die zusammendrückenden Kräfte die Erscheinungen der Elasticität hervorbringen sollte. Boyle, Derham, Hawksbee und Musschenbroek prüften indefs die verschiedensten Körper im luftleeren Raume, und fanden sie

1 S. *Compressionsmaschine* Th. II. S. 225.

daselbst auf gleiche Weise elastisch [1]. Cartesius [3] nahm seinem Systeme gemäfs einen feinen Aether an, welcher durch seine Strömungen Zwischenräume in den Körpern gebildet haben, und nach der Beugung oder Zusammendrückung derselben gegen die feste Masse stofsen und somit Wiederherstellung der früheren Form veranlassen sollte. Spätere Anhänger dieser Hypothese, als Malebranche, Mersenne, Daniel- [3] und Johann - Bernoulli [4] suchten dieselbe durch Annahme verschiedener Formen der Zwischenräume und eigenthümlicher Bewegungen des Aethers plausibeler zu machen. Andere hielten den Aether selbst für absolut elastisch, oder liefsen, wie Daniel Bernoulli, hauptsächlich in Beziehung auf die Flüssigkeiten, die Elasticität durch die Wärme entstehen, welche den Aether in Bewegung setzen sollte. Musschenbroek [5] verwirft indefs jede Erklärung aus einem Aether, theils weil ein solcher überhaupt nur hypothetisch sey, theils weil die versuchten Erklärungen überall innere Widersprüche enthielten, und er glaubt, dafs die Naturlehre noch nicht weit genug gebildet sey, um die Ursache dieser Eigenschaft befriedigend aufzufinden. Die Anhänger der Kantischen Dynamik leiteten die Elasticität von der Wirksamkeit der Dehnkraft ab, welche überhaupt eine zu grofse Annäherung ihren Theile gegen einander hindern soll; wogegen aber Gehler [6] erinnert, dafs eine solche Repulsivkraft mit der unbestreitbar existirenden Anziehungskraft nicht wohl verträglich sey.

Nach Gren [7] ist die Elasticität fester Körper eine unmittelbare Folge der Cohäsion, und er verwirft den Ausdruck *Elasticität*, um hierfür den andern, *Federkraft* einzuführen, weil elastische Körper die Fähigkeit haben sollen, zusammengedrückt zu werden, und dann durch Expansion ihren früheren Raum wieder einzunehmen, wie dieses bei den Gasarten der Fall ist. Die Hypothese übrigens, welche hiernach als physikalisches Gesetz aufgenommen werden müfste, dafs bei festen

1 Musschenbroek Introd. I. §. 766.
2 Princ. Phil. P. IV. prop. 132.
3 Hydrodyn. Sect. X.
4 Opp. III. 81.
5 a. a. O.
6 Wörterb. I. 701.
7 Grundrifs d. Naturlehre Halle 1797. 8. §. 126.

Körpern alle Erscheinungen der Elasticität von einer Ausdehnung ihrer Theile und dem Bestreben derselben, sich wieder zusammenzuziehen, abgeleitet werden müsse, eine Zusammendrückung oder Näherung dieser Theile aber ganz unstatthaft sey, hätte GREN bei näherem Nachdenken sich selbst leicht widerlegen können. Die bekannte Erfahrung an einer elfenbeinenen Billardkugel, welche auf eine ebene, mit Kienrufs gefärbte, harte Platte geworfen, flach gedrückt wird, erklärt er zwar daraus, dafs die Theile seitwärts ausweichen, und durch ihr nachfolgendes Zusammenziehen das Aufspringen der Kugel veranlassen sollen. Als Beweis hierfür dient ihm ein stählerner Ring, welcher bei der Zusammendrückung an den gedrückten Stellen Bogen mit gröfserem Radius bildet, also ausgedehnt wird, und durch Zusammenziehung der gedehnten Theile seine ursprüngliche Form wieder erhalten soll. Obgleich dieser Versuch keineswegs beweisend ist, um somehr, als bei der Erklärung desselben auf die kleineren, von den gröfseren um 90° entfernten, Bogen gar keine Rücksicht genommen wird, so läfst sich doch bei beiden Erscheinungen, sowohl an der Kugel als auch am Ringe, nicht darthun, dafs die Elasticität eben so gut eine Folge der Zusammenziehung als auch der Ausdehnung der weiter entfernten und der mehr genäherten Theile sey. Allein zuerst ist es schon an sich eine gewagte Voraussetzung, dafs z. B. bei einer aufgewundenen Stahlfeder oder einem gebogenen Stabe keine Zusammendrückung der Theile an der inneren Seite der Biegung stattfinden sollte, zweitens aber beweisen die zahlreichen Beispiele der Compression tropfbarer Flüssigkeiten und fester Körper hinlänglich, dafs die Theile derselben durch äufsere mechanische Gewalt einander wirklich näher gebracht werden [1], endlich aber zeigt das Ausweichen der zusammengedrückten Theile bei zu starker Krümmung elastischer Körper genugsam, dafs ebensowohl eine Zusammendrükkung als eine Ausdehnung der Theile die nächste Ursache der Reaction elastischer Körper gegen äufsere Gewalt sey, nicht zu gedenken des Beweises, welcher aus den Schwingungen elastischer klingender Körper folgt, indem diese auf keine Weise als blofse Ausdehnungen anzusehen sind. Ohne Zweifel ist auch die beim Biegen elastischer Drähte freiwerdende Wärme, wenn die Bie-

1 Vergl. *Compressibilität.*

gung insbesondere schnell nach entgegengesetzten Seiten wiederholt und dadurch ein Zerbrechen bewirkt wird, eine Folge dieser Compression der Theile.

Parrot [1] leitet gleichfalls die Erscheinungen der Elasticität von der Cohäsion allein ab, jedoch in der Art, daſs er dabei allerdings Zusammendrückung annimmt, aber ohne Mitwirkung einer repulsiven Kraft, deren Existenz er überhaupt verwirft. Nach ihm wirkt nämlich die Cohäsion theils longitudinal, theils lateral; im ersten Falle bei der Entfernung der Theile von einander, im letzten dann, wenn die gedrückten Theile in die Zwischenräume der benachbarten gepreſst, und von diesen nach Art eines mit Fett bestrichenen Keiles wieder zurückgestoſsen werden. Es ist dann ferner die longitudinale Cohäsion bei gestreckten Körpern wirksam, die laterale beim Zusammenstoſsen elastischer Kugeln, beide vereint aber geben die Erscheinungen gebogener Stäbe. Die Kenntniſs der Elasticität der Körper gäbe uns, nach seiner Ansicht, dann ein Mittel, die Cohäsionsweite ihrer Elemente zu berechnen, wobei es aber auf die Kenntniſs der Gröſse dieser letzteren ankäme, welche bis jetzt noch nicht erforscht ist. Für die Erklärung der Elasticität fester Körper reicht dieses allerdings hin, die Elasticität flüssiger Körper ist aber ohne die Annahme einer Repulsivkraft unmöglich, wie sich weiter unten zeigen wird.

Daſs die Erscheinungen der Elasticität, mindestens bei festen Körpern, als eine Folge der veränderten Lage der Elemente, einer Verschiebung derselben, zu betrachten, wird jetzt allgemein angenommen, und ist als unmittelbares Resultat der Beobachtung anzusehen. Am ausführlichsten und gehaltreichsten ist diese Ansicht erläutert durch Biot [2], welcher sie zugleich mit der Hypothese über die verschiedene Lage und das gegenseitige Verhältniſs der Elementartheilchen in den Körpern, jenachdem sie expansibel, tropfbar flüssig oder fest sind, in Verbindung bringt. Hiernach können auch bei festen Körpern die Bestandtheile durch äuſsere mechanische Gewalt gezwungen werden, ohne Aufhebung der Cohäsion einander veränderte Seiten zuzuwenden, welches auf eine aus den Erscheinungen der Krystallisation entnommene Anziehung nach der Richtung

1 Grundriſs d. theor. Physik. I. 54.

2 Traité I. 468.

der Axen jener Elemente führen würde. Die Verschiebung derselben kann ferner allgemein seyn, oder partiell, indem einige in ihrer Lage bleiben, auch beruhet hierauf im Allgemeinen die Formänderung der Körper und ihre Verwandlung in Drähte, Bleche u. s. w. verbunden mit einer ungleichen Dichtigkeit des Gefüges, wie solches z. B. bei der Oberfläche der Drähte und bei getriebenen Blechen statt findet [1]. Ist die Einwirkung einer äufsern Gewalt minder stark, und eine gewisse Grenze nicht überschreitend, so werden die Theile nach einigen Oscillationen wieder in ihre frühere Lage zurückkommen, und dieses ist der eigentliche Charakter der Elasticität. Biot hält hiernach die Elasticität für wesentlich verschieden von der Cohäsion, indem die letztere die absolute Kraft bezeichnet, womit die Theile der Körper an einander hängen; indefs ist nicht zu verkennen, dafs eben das Bestreben der Körper, den Zusammenhang der Theile in ihrer ursprünglichen Lage zu erhalten, und gegen die durch äufsere Kraft erlittene Veränderung wieder herzustellen, das Wesen der Elasticität ausmacht.

Ist die gegenseitige Lage der Theile durch Streckung, Beugung, Druck oder Drehung verändert, jedoch innerhalb der Grenze der Elasticität des individuellen Körpers, so dafs also bei nachlassender Kraft die anfängliche Form vollkommen wieder hergestellt wird, so müssen die in eine veränderte Lage gebrachten Theile bei der Herstellung der ursprünglichen Form die früher erlittenen Veränderungen rückwärts wieder herstellen, oder die nämlichen Räume wieder durchlaufen, welche sie bei der mitgetheilten Veränderung almälig durchlaufen haben. Insofern die Erscheinungen der Elasticität nothwendig auf das Gesetz der Attraction zurückgeführt werden müssen, da sie durch die Cohäsion bedingt sind und nicht statt finden, sobald die letztere zum Theil oder völlig überwunden ist, so könnte man argumentiren, dafs die Reaction durch die Elasticität mit der Zunahme der einwirkenden Kraft abnehmen müsse, wenn man annehmen wollte, dafs die Theile sich zunehmend von einander entfernten. Die Erfahrung ergiebt aber das Gegentheil, indem vielmehr innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elasticität die Reaction der einwirkenden Kraft nach dem angegebenen, durch Hooke aufgefundenen und nachher allge-

1 Vergl. Robison Mech. Phil. I. 386.

mein bestätigten Gesetze direct proportional ist. Hieraus folgt, daſs keineswegs eine Entfernung der Theile von einander statt findet, welche auch bei Zusammendrückungen nicht einmal angedeutet wird, aber auch bei Streckungen und Beugungen nicht anzunehmen ist, insofern keine absolute Vermehrung des Volumens statt findet; vielmehr beruhen die Erscheinungen der Elasticität bloſs auf einer Veränderung der Lage der Theile gegen einander und des mechanischen Gleichgewichts (équilibre stabile), worin sie sich im Zustande der Ruhe befinden [1], wahrscheinlich nicht ohne Einfluſs der Richtung ihrer Axen gegen einander, wenn man anders gewisse Anziehungsaxen, nach der Analogie der Krystallisationsaxen, anzunehmen geneigt ist. Diese Ansicht weiter zu verfolgen würde indeſs zu sehr in das Gebiet des bloſs Hypothetischen führen. Wenn aber der Satz begründet ist, daſs die Reaction der Elasticität allezeit der die Form verändernden Gewalt proportional wächst, so muſs nach dem Aufhören der letzteren die Oscillation, vermöge welcher die Theile in den ursprünglichen Zustand des Gleichgewichts zurückkehrt, dieser Gewalt gleichfalls proportional seyn, und hiernach sind diese Oscillationen isochronisch, wie groſs auch der Bogen seyn mag, welchen die Theile dabei durchlaufen, ein hauptsächlich in der Lehre vom Schalle höchst wichtiger Satz. Daſs hierbei wegen der Reibung der Theile an einander der Oscillationsbogen der Theile nicht doppelt so groſs wird, als derjenige ist, durch welchen sie anfänglich bewegt wurden, somit also die Oscillationen endlich selbst aufhören müssen, ist oben schon bemerkt. Werden die Theile der Körper durch äuſsere Gewalt über die Grenze der Elasticität hinausgerückt; so kommen sie nicht ganz in ihre frühere Lage zurück, und es muſs daher eine Verschiebung derselben statt gefunden haben, welche so sehr wachsen kann, daſs die Cohäsion zuletzt überwunden wird, und der Kör-

1 Nach Robison Mech. Phil. I. 379 befinden sich die Elemente der Körper, wenn diese in ihrem gewöhnlichen Zustande sind, in einem Zustande des Gleichgewichts anziehender und abstoſsender Kräfte, indem sie sich entweder nur in einzelnen Puncten berühren, oder nach Boscovich durch attractive und repulsive Kräfte im Gleichgewichte gehalten werden. Nach Poisson in Mém. de l'Inst. An. 1812. p. 171 ist die Elasticität Folge einer Repulsion zwischen den Theilen (molécules) der Körper, welche sich bloſs auf unmeſsbare Fernen erstreckt.

per zerbricht, zerreiſst. Nach dieser Ansicht muſs die Lage der Theile verändert werden durch das Hämmern, Drahtziehen, Walzen, zugleich auch durch das Härten, Anlassen, Kühlen u. dergl. m. und hiernach zeigen sich auch die Erscheinungen der Elasticität verschieden, obgleich es schwer ist, in den einzelnen Fällen den Einfluſs dieser Veränderungen der Körper auf die Elasticität genau nachzuweisen. Indeſs können wir mit Wahrscheinlichkeit schlieſsen, daſs z. B. durch das Kühlen des Glases die Sprödigkeit vermindert, die Elasticität aber vermehrt werde, weil die Theile beim langsamen Erkalten eine regelmäſsigere Lage annehmen, und daher weiter über einander hingeschoben werden können, ehe die Grenze ihrer Cohäsion überschritten wird. Eben dieses findet statt bei dem Stahl, welchem ein schnelles Abkühlen (Härten) eine gröſsere Sprödigkeit ertheilt, die durch stärkeres Anlassen mehr und mehr vermindert wird.

Indeſs dürfen wir solchen Schlüſsen hinsichtlich der Anordnung der Elemente der Körper nicht zu groſses Vertrauen schenken. Wären sie auf ein nothwendiges Naturgesetz gegründet, so müſsten die Erscheinungen allgemein seyn, welches keinesweges der Fall ist. Das Härten nämlich, welches von so groſsem Einflusse beim Stahl ist, zeigt eine unmerkliche oder gar keine Wirkung beim Golde, Silber, Zinn, Kupfer und andern verschiedenen Metallen, und was das merkwürdigste ist, es zeigt sich gerade das Gegentheil bei derjenigen Metallmischung, welche zu dem indischen Instrumente *Gong-gong*[1] genommen wird, und aus 78 Th. Kupfer mit 22 Th. Zinn besteht. Darcet nämlich und nach ihm Biot haben gefunden, daſs dasselbe nach langsamen Erkalten höchst spröde und brüchig ist, während es durch schnelles Ablöschen im Wasser hämmerbar wird[2]. Im ersten Falle ist sein Bruch glänzend weiſs, wie Zinn, im letzteren kupferbraun. Indem nun auch die Bruchfläche des Stahls nach der Verschiedenheit der Härtung verschieden, und überhaupt anders ist, als beim Eisen, so führt dieses auf den Schluſs, daſs diese Verschiedenheit eine Folge der ungleichen Aggregation und Lage der Bestandtheile sey. Daſs aber eine verschiedene Behandlung der Körper eine solche Verschieden-

1 Vergl. *Gong-gong*.
2 Biot a. a. O. S. 515.

heit hervorbringe geht aus andern Erscheinungen hervor. So ist die Polarisation des Lichtes anders in nicht gekühltem, als in gekühltem Glase; mechanischer Druck, ungleiche Erwärmung bringt gleichfalls eine Veränderung hervor, auch fand THENARD den bis 60° C. erwärmten und langsam erkalteten Phosphor weiſs und durchsichtig, schnell abgekühlt aber wurde derselbe schwarz und undurchsichtig wie Kohle [1].

Daſs eine andere Aggregation der Elemente bei flüssigen Körpern als bei festen statt finde, geht unverkennbar aus den Erscheinungen ihrer Elasticität hervor. Berücksichtigen wir zuvörderst die tropfbar flüssigen, indem nur diese im oben angegebenen Sinne des Wortes elastisch genannt werden können, so sind diese zuerst in sofern vollkommen elastisch, als sie der Erfahrung nach gegen jeden auch noch so groſsen Druck mit einer dieser zusammendrückenden Kraft proportionalen reagiren, und beim Nachlassen desselben ihr früheres Volumen wieder erhalten. Daſs dieses Gesetz nicht bis ins Unendliche gültig seyn könne ist als wahrscheinlich anzunehmend schon oben bemerkt, und es scheint das absolut Unendliche überhaupt nicht in der Natur vorhanden zu seyn, weil sie selbst endlich seyn muſs, wenn gleich ihre Grenzen nicht überall aufgefunden werden können, und PARROT [2] schlägt daher nicht ohne Grund vor, das unmeſsbar Kleine *physisch unendlich klein* im Gegensatze des *geometrisch unendlich Kleinen* zu nennen. Die Erscheinung der Elasticität tropfbar flüssiger Körper können wir uns nach LA PLACE, BIOT [3] u. a. hypothetisch aus der verhältniſsmäſsigen Lage ihrer Bestandtheile gegen einander recht gut erklären. Nach BIOT nämlich ist bei diesen das repulsive Princip (die Wärme) nicht in dem Grade thätig, als bei den gasförmigen, deren Theile sich daher stets mehr zu entfernen streben. Vielmehr wirken die Anziehungskräfte bei ihnen so stark, daſs sie ihr durch äuſseren Druck und die Wärme bedingtes Volumen stets beibehalten. Indeſs zeigen sich bei ihnen, so lange sie im Zustande der tropfbaren Flüssigkeit bleiben, keine Anziehungsgesetze, welche von der Gestalt und Lage ihrer Elementartheilchen abhängen, und welche mit der Entfernung derselben von einander weit schneller abnehmen, als die Anziehungen überhaupt. Die Theilchen werden sich daher anziehen,

1 G. XL. 342.
2 Theor. Physik. I. 65.
3 Traité I. 467. Vergl. *Festigkeit und Flüssigkeit.*

welches auch immer die gegenseitige Lage derselben rücksichtlich ihres Schwerpunctes und ihrer Attractions-Axen seyn mag, woraus dann eine freie Beweglichkeit ihrer Theile folgt. Biot leitet hieraus ferner den großen Widerstand her, welchen sie vermöge ihres repulsiven Princips jeder zusammendrückenden Kraft entgegen setzen, und welcher hiernach, eben wie der Erfahrung gemäſs, jederzeit der Zusammendrückung direct proportional ist, bis sie durch dieselbe in eine unveränderliche Lage kommen oder fest werden. Hiermit würde nämlich die kürzlich beobachtete Erscheinung zusammenhängen, daſs aus manchen Flüssigkeiten durch heftigen mechanischen Druck Krystalle ausgeschieden werden sollen. Bei ihnen kann daher, so lange sie tropfbar flüssig sind, weder eine Biegung noch eine Drehungselasticität statt finden, insofern die Anziehungsgesetze ihrer Theilchen in jeder Lage derselben gleich sind, sie daher auch kein Bestreben äuſsern, eine veränderte Lage dieser Theilchen wieder herzustellen, und ihre Elasticität kann sich daher bloſs gegen einen Druck äuſsern, welcher jene einander absolut näher zu bringen strebt, als dem Verhältnisse ihrer Attraction und Repulsion angemessen ist, mithin sind sie bloſs gegen absolute Zusammendrückung in einen engeren Raum elastisch, und kehren zu ihrem früheren Volumen, als dem stabilen Gleichgewichte ihrer repulsiven und attractiven Kraft angemessen, zurück, sobald dieser Druck aufhört. Dieses kann indeſs nur so lange statt finden, bis ihre Theile entweder durch den Druck selbst eine feste Lage gegeneinander annehmen, worüber uns indeſs bis jetzt genügende Erfahrungen fehlen, oder bis sie durch anderweitige Bedingungen, hauptäschlich durch Entziehung der Wärme, eine feste, entweder äuſserlich erkennbare regelmäſsige Lage ihrer Theile annehmen (krystallisiren) oder anscheinend unregelmäſsige Lage derselben erhalten, in welchem Falle sie den Gesetzen fester Körper folgen[1].

Durch diese Demonstration ist allerdings die Erscheinung so bezeichnet, wie die Erfahrung sie darbietet, wobei jedoch die Bemerkung nicht entgehen kann, daſs sowohl über die Lage und Anziehung der Elemente, als auch über den Conflict attractiver und repulsiver Kräfte etwas angenommen wird, was nicht auf unmittelbare Erfahrung gegründet ist. Zu den letzte-

1 Vergl. Young Lectures on Nat. Phil. I. 136.

ren muſs man indeſs nothwendig seine Zuflucht nehmen, wenn man consequent argumentiren will. Denn wenn man annimmt, daſs die Elemente der Flüssigkeiten einander durch mechanischen Druck mehr genähert, oder daſs die einen mehr in die Zwischenräume der andern eingedrückt sind, so müssen sie nothwendig bei der auf Erfahrung beruhenden gleichmäſsigen Lage aller Theile gegen einander durch Repulsivkraft wieder zurückgestoſsen werden, ohne daſs bloſse anziehende Kräfte dieses Phänomen zu erklären vermögen[1].

IV. Praktische Anwendungen.

Eine vorzügliche Anwendung der vorhergehenden Betrachtungen geben die aufgefundenen Gesetze, nämlich daſs die Elasticität oder die elastische Kraft der Körper einer auf sie einwirkenden, ausdehnenden, beugenden oder zusammendrückenden Kraft so weit proportional ist, bis die dadurch erzeugte Veränderung derselben über die Grenze ihrer Elasticität hinausgeht, und daſs eine über diese Gränze hinausgehende, auf die Körper fortdauernd wirkende Gewalt dieselben allmälig und mit zunehmender Geschwindigkeit, oder auch durch öftere Wiederholung endlich zerstören muſs. So wird ein Geschütz, wenn es mit einer über die Grenze seiner Cohäsion hinausgehenden Ladung geladen wird, zwar nicht das erstemal, wohl aber bei wiederholten Schüssen zerrissen werden, und ein auf gleiche Weise übermäſsig beschwerter Balken zwar nicht augenblicklich, aber mit der Zeit brechen, nachdem seine Biegung fortwährend zugenommen hat[2]. Man darf daher beim Maschinenwesen keinen Theil über die Grenze seiner Elasticität hinaus belasten.

Körper, welche eine nicht groſse Elasticität, aber bedeutende Härte haben, können unter geeigneten Umständen groſse Lasten tragen, weil sie der beugenden Gewalt nur wenig nachgeben, wenig herabsinken, und nicht leicht über die Grenze ihrer Cohäsion hinaus gebracht werden. Wirkt aber eine ihre Sprödigkeit treffende Gewalt auf sie, dann zerbrechen sie leicht.

---

1 Eine, nach meiner Ansicht, ungenügende Erklärung des Wesens der Elasticität von Barruel in Journ. de Ph. XLIX. 251 ausgezogen in Journ. de l'École polyt. cah. XI. 295 erwähne ich eben deswegen bloſs beiläufig.

2 Tredgold on cast Iron. 8. 5.

So wird eine Glassäule und ein Balken von sprödem Gufseisen eine grofse Last zu tragen vermögen, beide aber können durch einen Schlag oder Stofs leicht zerspringen[1].

Um die Stärke der Elasticität, hauptsächlich in Hinsicht auf den Widerstand, welchen die Körper vermöge dieser ihrer Eigenschaft einer ihre Form verändernden Gewalt entgegensetzen, auf einen allgemeinen Ausdruck zurückzubringen, hat THOMAS YOUNG[2] den Ausdruck *Modulus der Elasticität* eingeführt, welcher nachher in den Werken der Engländer über Mechanik beibehalten ist. Dieser stützt sich auf das oben erwähnte, durch die Erfahrung aufgefundene Gesetz, dafs die Veränderung, welche ein elastischer Körper durch eine gewisse Kraft erleidet, dieser letzteren so lange direct proportional ist, als die Theile des Körpers keine Veränderung ihrer Lage erleiden; also wenn z. B. ein an beiden Enden unterstützter Stab durch ein Gewicht von 10 ℔ in der Mitte desselben ruhend um 0,1 Z. herabgedrückt wird, so sinkt er durch 20 ℔ unter gleichen Umständen um 0,2 Z. herab. Hiernach kann also die Elasticität der Körper durch den Modulus der Elasticität ausgedrückt werden, wenn man hierunter *eine Säule von der nämlichen Substanz versteht, welche fähig ist einen Druck auf die Unterlage hervorzubringen, und sich zu dem Gewichte, wodurch eine Zusammendrückung des Körpers hervorgebracht wird, verhält wie die Länge des zusammengedrückten Körpers zu seiner Verkürzung.* Nennt man also den Modulus der Elasticität = M, das Gewicht, welches eine Säule von der Länge l um eine Gröfse = f verkürzt, = P: so ist

$$M : P = l : f; \text{ also } M = \frac{P\,l}{f}.$$

Drückte z. B. ein Gewicht von 1000 ℔ eine Säule von 100 Z. Länge um 1 Z. zusammen, so wäre der Modulus der Elasticität für diesen Körper

$$M = \frac{1000 \times 100}{1} = 100000,$$

wobei vorausgesetzt wird, dafs der Erfahrung nach ein gleich grofses Gewicht, an einer gleich langen Säule hängend, sie auch um eine gleiche Gröfse herabziehen oder ausdehnen würde. Um

1 Tredgold on cast Iron. S. 32.

2 Lectures on Nat. Phil. I. 137. II. 46.

dieses deutlicher darzustellen sey AB eine Prisma von einer willkürlichen Substanz, und BC eine Verlängerung desselben, welche die ganze anzuwendende Kraft darstellt, wodurch das Prisma um die geringe Gröſse a'A ausgedehnt wird. Während nun AB unverändert bleibt, muſs aA dem herabziehenden Gewichte BC proportional seyn, also Fig. 24.

$$aA : BC = AB : \frac{AB \times BC}{aA} = CD$$

oder $aA : AB = BC : \frac{AB \times BC}{aA} = CD$

wonach also CD eine constante Gröſse ist, und da BC das nämliche Verhältniſs zu CD hat, als aA : AB, so muſs ein Theil von CD durch sein Gewicht eine verhältniſsmäſsige Ausdehnung von AB hervorbringen. So würde also eine Säule von 0,001 der Länge von CD die Säule AB um 0,001 herabziehen und auf sie drückend um eine gleiche Gröſse zusammendrücken [1].

Es geht hieraus hervor, daſs man eben sowohl von dem Gewichte, als auch von der Höhe des Modulus der Elasticität reden könne, indem man sich allezeit eine Säule von der gegebenen Substanz denkt, welche durch ihr eigenes Gewicht die bestimmte Gröſse ihrer Verkürzung oder Verlängerung hervorbringt, auch liegt es am Tage, daſs man vermittelst dieser Normalgröſse die zur Elasticität der verschiedenen Körper gehörigen Erscheinungen construiren könne. Die Höhe des Modulus der Elasticität ist allezeit die nämliche, wie auch die Form des Körpers seyn mag, auch wird nach dem Gesetze der Elasticität eine Vermehrung oder Verminderung derselben eine proportionale Veränderung der Zusammendrückung herbeiführen. Für die Luft ist die Höhe des Modulus der Elasticität etwas über eine geographische Meile; denn wenn man das Verhältniſs des Wassers zur Luft = 779,44 : 1 und des Quecksilbers zum Wassers = 13,6 : 1, die Höhe dès Barometers aber = 2,3 F. annimmt, so würde eine gleichmäſsig dichte Luftsäule von 24381 F. diejenige Elasticität derselben hervorbringen, welche ihr jetzt eigen ist, jede Vermehrung oder Verminderung aber eine dieser proportionale Zusammendrückung oder Ausdehnung zur Folge haben. Das Gewicht des Modulus der Elasticität eines gegebenen Körpers muſs allezeit über die Grenze seiner Cohäsion hinausgehen; denn da

1 Vergl. Leslie Elements of Nat. Phil. I. 215.

dasselbe ihn einmal seiner Gröfse proportional ausdehnt, so wird diese Ausdehnung nicht nachlassen, bis der Körper zerrissen ist.

Will man bei der Berechnung und Messung des Widerstandes, welchen elastische Körper einer ihre Gestalt verändernden Gewalt entgegensetzen, von dieser Bezeichnung des Modulus der Elasticität Gebrauch machen, so führen hierzu folgende Betrachtungen[1]. Bezeichnet f ein Gewicht in Pfunden, welches ein Prisma von einem Quadratzoll Querschnitt zu tragen vermag, ohne über die Grenze seiner Elasticität ausgedehnt zu werden, W aber ein anderes Gewicht, welches von einem Prisma getragen werden kann, dessen Breite = b und Dicke = t ist, so ist

$$f : W = 1 : bt; \text{ also } \frac{W}{f} = bt.$$

Ist ferner e die Gröfse, um welche ein Prisma von einem Quadratzoll Querschnitt und einem Fufs Länge durch ein Gewicht = f ausgedehnt wird, und ist l irgend eine andere gegebene Länge, so ist

$$1 : l = e : le,$$

da bei elastischen Körpern die Ausdehnung dem Gewichte proportional ist, wonach also auch

$$f : W = e : \frac{We}{f}$$

oder wenn man aus der vorhergehenden Proportion auch die Länge = l mit einführt, so ist $\frac{Wle}{f} = \Delta$ diejenige Ausdehnung, welche für eine gegebene Länge = l durch ein Gewicht = W würde hervorgebracht werden. Geht man nun von dem Grundsatze aus, dafs wie sich die Länge einer gegebenen Säule zur Verminderung dieser Länge, so der Modulus der Elasticität zu der die Verminderung bewirkenden Kraft verhält, so hat man für das *Gewicht des Modulus der Elasticität* = m die Proportion

$$e : f = 1 : m \text{ also } m = \frac{f}{e},$$

und wenn p das Gewicht einer Säule der Substanz von 1 F. Länge

---

1 Tredgold Practical Essay on the strength of cast Iron. Lond. 1824. S. 119.

und einem Quadratzoll Querschnitt bezeichnet, M aber die *Höhe des Modulus der Elasticität*, so ist

$$pM = \frac{f}{e} \text{ also } M = \frac{f}{pe}.$$

Um an einem Beispiele zu zeigen, wie beide Gröfsen m und M gefunden werden, so ist nach englischem Mafs und Gewicht bei weifsem Marmor die Cohäsionskraft eines Parallelepipedon von einem Quadratzoll Querschnitt = 1811 ℔ avoir-du-poids Gewicht, und die Ausdehnung seiner Länge bei 1 Fufs $= \frac{1}{1394}$, mithin ist

$$f : e = 1811 : \frac{1}{1394} = 2524534 = m.$$

Das Gewicht eines solchen Parallelepipedon aber beträgt 1,17 ℔, mithin ist $\frac{f}{pe} = 1811 : \frac{1,17}{1394} = 2151102 = M.$

Die Gröfse f oder die absolute Festigkeit der Körper bis zur Grenze der Ueberwindung ihrer Elasticität ist unter dem Artikel Cohäsion[1] nach den Resultaten der genauesten bekannten Beobachtungen auf rheinländisches Mafs und Cölnisches Markgewicht reducirt mitgetheilt. Es wird daher hier genügen, diese Gröfse f, desgleichen e, p, m und M nach Tredgold[2], welcher hierüber am vollständigsten ist, jedoch ohne Reduction, also in englischem Fufsmafs und in avoir-du-poids Gewicht mitzutheilen, wobei ferner noch zu berücksichtigen ist, dafs die Zahlen unter e den Nenner eines Bruches angeben, welchem die Einheit als Zähler zugehört.

---

1 S. *Cohäsion* Th. II. S. 153.

2 a. a. O. S. 269.

Substanzen	f	e	p	m	M
Stahl	45000	645	3,400	29000000	8530000
— nach Tredgold[1]	51000	585	3,400	29983410	8818650
Schmiedeeisen	17800	1400	3,300	24920000	7550000
Gufseisen	15300	1204	3,200	18400000	5750000
Messing	6700	1333	3,630	8930000	2460000
Glockenspeise	10000	960	3,540	9873000	2790000
Zinn	2880	1600	3,165	4608000	1453000
Blei	1500	480	4,940	720000	146000
Zink	5700	4200	3,050	13680000	4480000
Quecksilber	—	—	5,938	4417000	750000
Esche	3540	464	0,330	1640000	4970000
Buche	2360	570	0,315	1345000	4600000
Ulme	3240	414	0,236	1340000	4680000
Rothtanne	4290	470	0,242	2016000	8330000
Weifstanne	3630	504	0,204	1830000	8970000
Lerchenbaum	2065	520	0,243	1074000	4415000
Mahagoni	3800	420	0,243	1596000	6570000
Eiche	3960	430	0,360	1700000	4730000
Fichte	3900	414	0,186	1600000	8700000
Weifser Marmor	1811	1394	1,170	2520000	2150000
Schiefer von Wallis	11500	1370	1,190	15800000	13240000
— a. Westmoreland	7870	1640	—	12900000	— —
— a. Schottland	9600	1645	—	15790000	— —
Portland-Stein	857	1789	0,920	1533000	1672000
Wasser	—	—	0,434	325000	750000
Fischbein	5600	146	0,562	820000	1458000

Die bekannten Gesetze der Elasticität sind oben aus den Versuchen gefolgert, und es sind demnächst einige unmittelbare Anwendungen derselben nachgewiesen, welche übrigens bei der Einfachheit der Sache selbst nicht weitläuftig seyn können. In der Anwendung kommt auch die Elasticität der Körper an sich weit weniger in Betrachtung, als vielmehr der Widerstand, welchen dieselben vermöge jener ihrer Eigenschaft so lange zu leisten vermögen, bis ihre Theile eine solche Veränderung ihrer Lage erleiden, dafs sie dieselbe nicht vollständig wieder herstellen *(take a set)*. In wie fern dieses zur Bestimmung derje-

1 Phil. Trans. 1824. II. 358.

nigen Lasten benutzt werden kann, womit die verschiedenen Körper nach ihrer Länge und nach ihrer Quere, ohne eine bleibende Veränderung zu erleiden, beschwert werden dürfen (absolute, relative und rückwirkende Festigkeit), ist unter dem Artikel *Cohäsion* gezeigt, und es bleibt daher hier nichts weiter übrig, als eine Anwendung davon auf diejenigen Fälle zu machen, in denen Körper um ihre Axe gedrehet werden, z. B. bei den Wellen der Räder, den Winden, den Schrauben u. a. m. welche wegen ihres unmittelbaren Zusammenhanges mit den Gesetzen der Elasticität der Körper, wenn sie um ihre Axe gedrehet werden, dort nicht erörtert werden konnten.

Es ist oben gezeigt, dafs die Kraft, womit die Körper in diesem Falle der einwirkenden Gewalt Widerstand leisten, der vierten Potenz ihres Halbmessers directe und dem einfachen Verhältnisse ihrer Länge umgekehrt proportional sind. Nennt man also den Coefficienten ihrer Elasticität α, ihre Länge l, ihren Durchmesser d, und berücksichtigt zugleich, dafs nach dem Gesetze des statischen Momentes die Kraft ihrer Entfernung vom Umdrehungspuncte proportional ist, nennt man also die Länge des Hebelarmes, an welchem die Last den gegebenen Körper zu winden strebt, von der Umdrehungsaxe an, = R, so ist allgemein die Kraft W, welche mit der Elasticität des gewundenen Körpers ohne bleibende Verrückung seiner Theile im Gleichgewichte steht,

$$W = \frac{\alpha d^4}{l R}.$$

Für die praktische Anwendung würde erforderlich seyn, den Coefficienten α bei denjenigen Körpern, wovon im Maschinenwesen vorzüglich Gebrauch gemacht wird, durch Versuche aufzufinden. Indefs ist dieses, so weit mir bekannt, noch bei den wenigsten Substanzen geschehen, und bleibt dieses daher künftigen Untersuchungen vorbehalten. Einen andern Weg hat Tredgold[1] betreten, um praktische Regeln über die erforderliche Stärke des Materials gegen die dasselbe drehende Gewalt aufzufinden. Hierbei nimmt er an, dafs ein rectangulärer flacher Körper, etwa ein Blech, entweder durch eine denselben rechtwinklig theilende Linie, oder in zwei seiner Kanten unterstützt sey, und durch eine an die zwei freischwebenden Sei-

1 a. a. O. S. 216 ff.

ten gehangene Last gebogen werde, so lange als seine Elasticität den beugenden Kräften ohne bleibende Formänderung Widerstand zu leisten vermag, wovon er dann zur Auffindung derjenigen Kraft übergeht, mit welcher ein Körper von beliebiger Form einer ihn um seine Längenaxe drehenden oder windenden Last widersteht. Auf diese Weise findet er für einen Balken von quadratischem Querschnitt, dessen Seite in Zollen = s, die Länge in Fufsen = l, der Abstand der Last von seiner Axe gleichfalls in Fufsen = R ist, das Gewicht = W in Pfunden, welches in diesem Abstande auf denselben wirken darf

$$W = \frac{f\,s^2}{1728\,R\,l}\left(s^2 + 72\,l^2\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad I,$$

worin f dasjenige Gewicht in Pfunden bezeichnet, womit ein Parallelopipedon von einem Quadratzoll Querschnitt ohne bleibende Formänderung nach seiner Länge belastet werden darf, und welches in der vorstehenden Tabelle enthalten ist. Für einen Cylinder ist auf gleiche Weise, wenn d den Durchmesser in Zollen bezeichnet, die übrigen Bezeichnungen aber beibehalten werden,

$$W = \frac{f\,d^2}{2942\,R\,l}\left(d^2 + 144\,l^2\right) \quad . \quad . \quad . \quad II,$$

Es findet sich, dafs der Widerstand gegen die Drehung bei einem cylindrischen Körper ein Minimum wird, wenn 12 l = d, oder die Länge dem Durchmesser gleich ist. Substituirt man diesen Werth in die angegebene Formel, so ist

$$W = \frac{f\,d^3}{122{,}8\,R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad III,$$

welche bequeme Formel in allen denjenigen Fällen angewandt werden kann, wenn die Länge des Cylinders den Durchmesser übertrifft. Unter dieser nämlichen Bedingung ist für einen hohlen Cylinder von einem äufseren Durchmesser = d und einem inneren = n d

$$W = \frac{f\,d^3}{122{,}8\,R}\left(1 - n^4\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad IV,$$

Tredgold giebt n = 0,6 als das beste Verhältnifs für die Durchmesser an, in welchem Falle

$$W = \frac{f\,d^3}{141{,}7\,R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad V$$

wird.

Als Beispiel zur Erläuterung mögen folgende dienen. Würde der Durchmesser einer Mühlenwelle aus Gufseisen verlangt, welche ein Rad von 9 F. Radius tragen sollte, gegen dessen Umfang das Wasser im Maximo mit einer Kraft von 2000 ℔ wirkte, so wäre nach der Formel III das Gewicht W = 2000 ℔, der Halbmesser R = 9 F., die Stärke des Gufseisens f nach der vorstehenden Tabelle = 15300 gesetzt,

$$2000 = \frac{15300\ d^3}{122{,}8 \times 9}$$

woraus $d^3 = 144{,}477$ . . . also d nahe genau 5,25 Z. als Durchmesser der Welle gefunden wird. Soll dagegen der Cylinder ein hohler mit dem angegebenen Verhältnisse der Durchmesser seyn, so wäre nach der Formel V, die nämlichen Werthe substituirt,

$$d^3 = \frac{2000 \times 141{,}7 \times 9}{15300}$$

also d nahe genau 5,5 Z. Auch bei diesen aus Tredgold entlehnten Formeln und Beispielen ist englisches Fufsmafs und Gewicht beibehalten. *M.*

Elaterometer.

Elasticitätsmesser; *Index mercurialis;* Baromètre d'épreuve; *Air gage, air gauge, steam-gage.* Eine Vorrichtung an Luftpumpen und Dampfmaschinen, um die Elasticität, mit welcher verdünnte oder verdichtete Luft unter dem Recipienten, oder auch die Dämpfe im Cylinder einer Dampfmaschine dem Drucke der atmosphärischen Luft entgegen wirken.

Das *Elaterometer für die Luftpumpe* ist eigentlich ein Barometer A, B, C, dessen oberes Ende, A, anstatt zugeschmolzen zu seyn, offen ist, und durch eine Zuleitungsröhre D mit dem innern Raum des Recipienten in Verbindung steht. Vor der Verdünnung steht das Quecksilber in beiden Schenkeln des heberförmigen Barometers gleich. z. B. bei ff'; so wie aber die Luft im Recipienten verdünnt wird, drückt die Atmosphäre durch den offenen Schenkel CB nach, und es erhebt sich in AB. Die Röhren sind von f aus auf und niederwärts nach Zollen und Linien eingetheilt, und ein in der Nähe hängendes Barometer giebt das Verhältnifs der *Verdünnung durch die Luftpumpe zu der* Fig. 25.

Torricelli'schen Leere zu erkennen, den äufsern Barometerstand gleich 1 gesetzt. Das Letztere läfst sich entbehren, wenn der Schenkel BC bei C zugeschmolzen ist, so dafs CB ein wirkliches Heberbarometer vorstellt, in welchem die Quecksilbersäule von i bis h geht. Vor der Verschliefsung der Hähne ist die Luft unter dem Recipienten an Dichtigkeit der äufseren gleich, und das Instrument zeigt in der Röhre BC, den wirklichen Barometerstand, den man für die kurze Zeit des Versuchs als unveränderlich annehmen kann. So wie man zu pumpen anfängt, fällt das Barometer, und der Unterschied der Quecksilberhöhen in beiden Schenkeln giebt den der Verdünnung entsprechenden Barometerstand zu erkennen, Stände dasselbe in beiden Schenkeln auf gleicher Höhe, so würde dieses eine *völlige Luftleere* im Recipienten anzeigen.

Es hält nicht schwer, das hier angegebene Heberbarometer in ein Gefäfsbarometer umzuwandeln, wobei man bei der erstern Art, wo das Quecksilber durch den äufsern Atmosphärendruck heraufgetrieben wird, noch den Schenkel BC ersparen würde. Man darf nur unten, bei B ein Gefäfs anbringen, in welches die Röhre AB eingesenkt wird. Die Construction ist auch wirklich diejenige des ersten Erfinders, Hawksbee[1]; nur mit dem Unterschiede, dafs dieser die Barometerröhre direct in den Teller des Recipienten eintreten liefs, da hingegen späterhin Nairne und Blunt bei der Verfertigung einer Smeaton'schen Luftpumpe eine Seitenröhre mit einer messingenen, inwendig mit einem deckenden Kitt überzogene Büchse anbrachten, welche das etwan überspritzende Quecksilber aufnehmen sollte. Allein die grofse Ausdehnung, die man einem solchen Gefäfse geben mufs, wenn man nicht mit beschwerlichen Reductionen sich plagen will, scheint dem Heberbarometer, zumal bei der zweiten der angeführten Constructionen, die ein eigentliches Barometer mit der Luftpumpe in Verbindung bringt, wesentliche Vorzüge für genauere Messung zuzusichern. Diese Idee findet sich in einer zwar reducirten, aber für den Gebrauch meistens genügenden
Fig. Form ausgeführt, in dem abgekürzten Barometer, (Baromètre
26. tronqué) welches Düfay[2] beschreibt. Es ist ein Gefäfsbarometer (dem man auch wegen der Capillardepression und der

1 Physico-mechanical experiments etc. London 1709. 4.

2 Mém. de l'Acad. 1734.

geschmeidigern Form ein Heberbarometer substituiren kann) von nicht mehr als 5 bis 6 Zoll Höhe, auf einem platten Fuſse stehend, das unter die Glocke der Luftpumpe gesetzt wird. Seine Wirksamkeit fängt erst an, wenn der Luftdruck unter dem Recipienten nur noch einem Barometerstande von 3 bis 4 Zollen gleich ist.

Die Bestimmung der Dichtigkeit der eingeschlossenen Luft nach diesen Barometern ist einfach. Da die Dichtigkeiten oder die Elasticitätten sich wie die Quecksilbersäulen verhalten, welche sie zu tragen vermögen, so braucht man nur die am Elaterometer sich ergebende Höhe des Quecksilbers mit dem jedesmaligen Stande desselben zu vergleichen, um auf das Maſs der Verdünnung zu schlieſsen. Bei der erstern Einrichtung, (nach Hawksbee) wo der äuſsere Luftdruck das Quecksilber in die Röhre AB hinauftreibt, verhalten sich die Dichtigkeiten der eingeschlossenen Luft, wie die Ergänzungen der Höhen des Quecksilbers zum Barometerstande, oder wenn a den beobachteten äuſsern Barometerstand, h die Höhe der angesogenen Quecksilbersäule, D die Dichtigkeit der äuſsern, d die der innern Luft bezeichnet, so ist $d = D \times \frac{a - h}{a}$. Wäre also a = 28 Zoll; h = 24, so ist a — h, oder die Elasticität der eingeschlossenen Luft = 4 Zoll, mithin ihre Dichtigkeit = $\frac{4}{28}$ oder $\frac{1}{7}$ von derjenigen der äuſsern Luft. Bei dem Elaterometer nach Düfay hingegen hat man, wenn die Quecksilberhöhen h an dem Barometer in der oben luftleeren, Röhre CB gemessen worden, $d : D = h : a$; also $d = D \times \frac{h}{a}$; wenn daher dieses Barometer von 28 Zoll auf 24 Zolle fällt, so ist die Dichtigkeit der eingeschlossenen Luft = $\frac{24}{28}$ oder $\frac{6}{7}$ der äuſsern.

Smeaton hat noch ein anderes Elaterometer angegeben, welches von demjenigen des Hawksbee nur darin verschieden ist, daſs nicht der aërostatische Druck der freien Luft, sondern die Expansivkraft eines gewissen Quantums eingeschlossener Luft das Quecksilber in die Röhre AB hinaufdrückt. Seine Wirkung wird am deutlichsten eingesehen, wenn wir ihm die oben angedeutete heberförmige Gestalt geben, wobei man nur Fig.
innerhalb des Verschlusses bei C ein gewisses Quantum atmosphä- 25.
rischer Luft eingeschlossen sich denken muſs. Es gehe dieses von C bis f, und das Instrument sey so regulirt, daſs vor dem

Auspumpen das Quecksilber in beiden Schenkeln gleich hoch stehe, was wohl am besten durch einen in C angebrachten dicht verschliefsenden Hahn bewerkstelligt wird, durch welchen zuvor die atmosphärische Luft eindringen kann. So wie die Verdünnung beginnt, entsteht ein immerfort verändertes Verhältnifs zwischen der unverminderten Elasticität der eingeschlossenen Luft im Schenkel BC, und derjenigen im Schenkel AB, dergestalt, dafs dasjenige, was der Letzteren an Elasticität abgeht, durch den Druck der in AB sich erhebenden Quecksilbersäule ersetzt wird[1]. Es bezeichne d die (in Zollen der Barometerscale auszudrückende) Dichtigkeit der Luft im Recipienten, D diejenige Dichtigkeit, welche dem äufsern Barometerstande entspricht; a bedeute das Volumen der eingesperrten Luft in Höhen-Zollen der cylindrischen Röhre BC ausgedrückt; h die Erhebung der Quecksilbersäule im Schenkel AB über die Höhe desselben im Schenkel BC, mithin die daraus erfolgende Depression in diesem Schenkel oder die Vergröfserung des eingesperrten Luftraumes $\frac{1}{2}$ h, so ist die Luft, welche vorher den Raum a einnahm, auf $a + \frac{1}{2}h$ ausgedehnt; ihre Federkraft, die vorher gleich dem Barometerstande war, ist nun im umgekehrten Verhältnifs der Räume, $a : a + \frac{1}{2}h$ geschwächt worden. Mit dieser verdünnten Luft steht auf der andern Seite die Luft unter dem Recipienten, nebst der Quecksilberhöhe h im Gleichgewicht; es ist also $d + h = \frac{aD}{a + \frac{1}{2}h}$; daraus die gesuchte Dichtigkeit $d = \frac{aD}{a + \frac{1}{2}h} - h$. Es sey $D = 28$ Zolle, $a = 12$ Z.; $h = 16$ Z., so ist $d = \frac{12 \cdot 28}{12 + 8} - 16 = 0{,}8$ Zollen Quecksilberhöhe.

Das nämliche Instrument läfst sich auch zur Abmessung der *Verdichtung* der Luft gebrauchen, wenn man h oder den Höhenunterschied der Quecksilberflächen negativ nimmt. Es ist alsdann $d' = \frac{a \cdot D}{a - \frac{1}{2}h} + h$; wäre nun der Stand des Quecksilbers im verschlossenen Schenkel über dem untern Niveau, oder $h = 10$ Zoll, so hat man für $d' = \frac{12 \cdot 28}{12 - 5} + 10 = 58$ Zoll, oder eine mehr als zweifache Verdichtung. Es wird hierbei

1 Philos. Trans. Vol. XLVII. art. 69.

vorausgesetzt, daſs die angewandten Röhren von gleichem Caliber seyen, und dieser Umstand mag dazu beigetragen haben, daſs dieses Elaterometer nicht in Gebrauch gekommen ist, und daſs selbst bei Luftpumpen nach SMEATON's Angabe die Einrichtung von HAWKSBEE angewandt wurde.

Bei dem vor Zeiten angewandten Verfahren, die Glasglocke zu besserer Verschlieſsung auf ein nasses Leder zu setzen, wurde im Vacuum so viel Wasserdampf erzeugt, daſs das Elaterometer die eigentliche Verdünnung der Luft beträchtlich geringer angab, als sie wirklich war. Diesem Nachtheile half SMEATON durch die sogenannte *Birnprobe* ab, vermittelst welcher die Verdünnung durch das Zusammendrücken eines gegebenen Quantums verdünnter Luft bis zu gleicher Dichtigkeit mit der äuſseren, gemessen wurde, bei welcher Verdichtung jene Dämpfe nicht mehr statt finden konnten. Die neuern Mechaniker haben durch genaues Aufschleifen der Recipienten auf den Teller der Luftpumpe jene Quelle der Feuchtigkeit entfernt, und so dürfte das Elaterometer allmälig wieder in seine Rechte treten, aus welchen es durch die nach ihrer gewöhnlichen Einrichtung auch nicht ganz tadelfreie Birnprobe verdrängt worden ist[1].

Ganz die nämlichen Apparate wurden auch bei den Dampfmaschinen von ihrem berühmten Verbesserer J. WATT in Anwendung gebracht. Es sind derselben zweierlei. Das eine Elaterometer dient, um das Vacuum, welches durch die plötzliche Verdichtung der Dämpfe entsteht, oder die Elasticität der übriggebliebenen Dämpfe zu beurtheilen[2], das andere giebt die Kraft der Wasserdämpfe an, welche aus dem Kessel in das Verdichtungsgefäſs übergehen.

Aus dem in der Tiefe stehenden Verdichtungsgefäſse steigt eine eiserne Röhre a b auf, welche bei b umgebogen und niederwärts gehend, bei c wieder aufwärts gerichtet ist; die Verlängerung c d von circa 30 Zollen Länge ist entweder von Glas, oder auch von Eisen und mit einem Schwimmer versehen. Durch das offene Ende d wird Quecksilber hineingegossen, bis es etwa bei f, f in beiden Schenkeln gleich steht. Der Hahn K dient, um den Apparat verschlossen zu halten, bis die Dämpfe abgekühlt sind, weil diese sonst das Quecksilber bei d herauswerfen Fig. 27.

1 S. Art. *Birnprobe*. I. 977.
2 S. Art. *Dampfmaschine* II. 473.

würden. Das Fallen der Flüssigkeit in der Röhre cd gibt die Leere im Verdichtungsapparate zu erkennen. Ist dieser und die Luftpumpe in gutem Stande, so fällt das Quecksilber um 14 bis 15 Zolle, was einem Druck von ungefähr eben so viel Pfunden auf den Quadratzoll gleich ist[1].

Ein diesem sehr ähnliches Elaterometer bringt CUTHBERTSON[2] bei seinen Luftpumpen an, und zwar bei den gröſseren mit der gewöhnlichen Barometerröhre zugleich, bei den kleineren aber nur dieses allein, und giebt ihm den Namen *Doppelheber* oder *Doppelheberprobe* (*double syphon*). Dasselbe besteht Fig. 28. aus einer doppelt heberförmig gebogenen Glasröhre a b c d, etwas über 2 Lin. dick und etwas über eine Linie weit, deren aufstehendes, oben bei d zugeschmolzenes Ende d c bis über die untere Krümmung bei c mit Quecksilber gefüllt und wie ein Barometer ausgekocht ist. Die Zeichnung stellt alle drei Theile der Röhre in einer Ebene liegend dar, zur Ersparung des Raumes und für die Bequemlichkeit des Aufschraubens ist es aber besser, sie so zu biegen, daſs sie die Kanten eines dreiseitigen Prisma bilden. Die so gebogene, gefüllte und gehörig ausgekochte Röhre wird in die männliche Schraubenfassung g g gekittet, und vermittelst derselben auf ein mit der Oeffnung des Tellers der Luftpumpe in Verbindung stehendes Rohr geschraubt, so daſs das Quecksilber in den Schenkel d c herabsinkt, sobald die Elasticität der Luft unter der exantlirten Campane geringer ist, als daſs sie die Höhe der Quecksilbersäule d c zu tragen vermöchte. Um dann die Differenz der sogenannten *Guericke'schen Leere* unter der Campane und der *Torricellischen* über dem Quecksilber im Schenkel c d besser und genauer messen zu können, ist an dem aufstehenden Arme n der federnden und auf der Röhre verschiebbaren Zwinge m die bewegliche elfenbeinerne Scheibe ff befestigt, welche etwa einen Zoll hoch, und durch feine Striche in Linien und deren Zehntheile getheilt ist, durch die an zwei Drähten hängende Kugel p stets horizontal gehalten wird, und dadurch das Mittel darbietet, die Höhe der Quecksilbersäule in den beiden Schenkeln der Röhre nach Zollen und

1 Das andere Elaterometer, als wesentlicher Theil der Dampfmaschine ist Th. II. S. 467 beschrieben, und Fig. 150 abgebildet.

2 Description of an improved Air-pump cet. by J. Cuthbertson Amst. 1787. 8. S. 18. Daselbst abgebildet Taf. II. Fig. 9.

deren Theilen scharf zu bestimmen. Der Unterschied derselben giebt dann unmittelbar die Elasticität der unter der Campane noch zurückgebliebenen expansibelen Flüssigkeiten an.

Einfache heberförmig gebogene und auf die angegebene Weise mit Quecksilber im einen Schenkel gefüllte und ausgekochte Glasröhren, werden oft von den Physikern nach dem jedesmaligen Bedürfnifs gröfser oder kleiner verfertigt, um unter die Campane zur Bestimmung des Grades der Verdünnung als Elaterometer gesetzt zu werden, deren detaillirte Beschreibung indefs überflüssig scheint. *H.*

Elektricität.

Electricitas; Electricité; *Electricity*. Mit diesem Namen bezeichnet man den Inbegriff gewisser Erscheinungen, welche von einem eigenthümlichen Zustande eines Körpers abhängen, in welchem derselbe leichte Körperchen aller Art, die ihm genähert werden, anzieht, dann wieder zurückstöfst, und bei einer gewissen Intensität dieses Zustandes gegen gewisse ihm genäherte Körper, z. B. den Finger, einen leuchtenden und für das Gefühl stechenden Funken mit einem knisternden Schalle giebt, einen eigenthümlichen, dem des an der Luft sich langsam oxydirenden Phosphors ähnlichen, Geruch verbreitet, und noch andere weiter unten umständlich anzuführende Wirkungen äufsert, auch andere Körper, die mit ihm verbunden werden, in den Stand setzt, eben diese Wirkungen hervorzubringen. Alles dieses nennt man *Elektricitätserscheinungen*, oder *elektrische Erscheinungen* und den Körper selbst in diesem Zustande *elektrisch*. Bisweilen bezeichnet man auch durch das Wort Elektricität (E) die Ursache dieser Erscheinungen in demselben Sinn, wie man durch das Wort Wärme die Ursache der Wärme-Erscheinungen, durch das Wort Licht die Ursache der Licht-Erscheinungen bezeichnet. Ich werde indefs in den Artikeln, welche sich auf die E beziehen, dieses Wort in der Regel in dem zuerst aufgestellten Sinne gebrauchen, und wo von der Ursache selbst näher die Rede ist, entweder dieselbe, soferne sie als eine noch nicht hinlänglich genau bestimmte anzusehen ist, durch den allgemeinen Namen *elektrische Materie* oder durch *elektrisches Fluidum* bezeichnen.

Der Name dieser ganzen Lehre hat seinen Ursprung von dem griechischen Worte des Bernsteins oder Agtsteins ἤλεκτρον, an welchem obige Eigenschaften unter gewissen Umständen zuerst bemerkt wurden[1], daher auch einige deutsche Puristen, wie der Abt Hemmer in allen von diesem griechischen Worte abgeleiteten Worten, das deutsche Agtstein unterschieben wollten, was aber wegen der barbarisch klingenden Zusammensetzungen, wie z. B. Beagtsteinkräftigen statt elektrisiren, Beagtsteinkräftigungsrüstzeug statt Elektrisir-Maschine mit Recht keinen Eingang gefunden hat. Die wahrscheinlichste Ableitung[2] des Wortes ἤλεκτρον selbst aber ist die von seiner anziehenden Kraft hergenommene, die das alte Hellas mit der des Magnetes zusammenstellte, und welche beide den Thales dahin brachten, auch leblosen Dingen eine Seele zuzuschreiben, — also von ἕλκειν, ziehen, die härtere Form ἕλκτρον, welche zunächst daraus hervorgehen würde, zu ἤλεκτρον gemildert, wie etwa ἡμέρα zu ἦμαρ wird. Um derselben Kraft willen, an *Stroh* und Fäden und Blättern bemerkt, nannten die Syrer den Bernstein *Räuber*[3], die Perser *Strohräuber* (Karuba, wovon auch das noch jetzt den Bernstein bezeichnende Wort Carabe herstammt); der französische Trivialname *tire-paille* ist bekannt. Gleichwie aber bei uns Deutschen der Name Bernstein nach einer Nebeneigenschaft, der Brennbarkeit (bernen, brennen) gebildet ist, so ward bei den Griechen das blässere, stark mit Silber gemischte Gold, welches Herodot[4] *Weifsgold* nennt, weil seine Farbe an τὸ ἤλεκτρον erinnert, ὁ ἤλεκτρος (χρυσός) genannt[5].

Da die nähere Betrachtung dieser höchst merkwürdigen und mannigfaltigen Erscheinungen in verschiedene besondere Artikel der Einrichtung eines Wörterbuchs gemäfs vertheilt werden mufs, so werde ich in diesem allgemeinen Artikel eine Uebersicht aller wesentlichen Verhältnisse geben, unter welchen diese Erscheinungen vorkommen können, und von denen ihre wichtigsten Modificationen abhängen, und zwar dieselben betrachten,

---

1 S. *Geschichte der Elektricität.*

2 Diese für manche Leser gewifs nicht uninteressante Notiz verdanke ich meinen hochgeschätzten Collegen Dahlmann.

3 Plin. H. N. XXXVII. c. 2.

4 Hist. I. 50.

5 Gründlichere Aufklärung giebt Buttmann über das Elektron in Abh. der Berlin. Ak. d. W. 1818—19. S. 38 ff.

1. an sich überhaupt, 2. die Hauptverschiedenheiten derselben, 3. die Mittel sie zu erregen, 4. die Mittel diese Wirkungen weiter zu verbreiten und die Gesetze für diese Verbreitung, 5. die Gesetze für die Hauptformen der elektrischen Thätigkeitsäufserung entwickeln, 6. eine gedrängte Geschichte der Eelektricität und eine Nachricht von den Meinungen der Physiker über die Ursache derselben beifügen und 7. mit einer allgemeinen Betrachtung über das Verhältnifs der Elektricität gegen andere Naturkräfte und über das, was in dieser Hinsicht noch aufzuklären bleibt, schliefsen.

I. Elektrische Erscheinungen im allgemeinen.

Wenn man eine reine und trockene Glasröhre mit der einen Hand hält, und mit der andern reinen und trockenen Hand, einen wollenen Lappen, oder am besten mit einem mit Amalgam [1] bestrichenem ledernen Lappen durch abwechselndes Auf- und Niederwärtsstreichen reibt, dann aber dieselbe einem kleinen leichten Körper, z. B. einem Stückchen Papier, einem Metallblättchen, oder noch besser, einem kleinen an einem seidenen Faden hängenden Kügelchen von Hollundermark oder Sonnenblumenmark oder Kork nähert, so wird die geriebene Röhre den leichten Körper zuerst aus einer merklichen Ferne anziehen, bald darauf wieder von sich stofsen, dann, wenn derselbe den Tisch wieder berührt hat, oder das aufgehängte Kügelchen mit dem Finger berührt worden ist, abermals anziehen, und so eine Zeitlang abwechselnd fortfahren.

Wenn man sich der geriebenen und dadurch el. gewordenen Glasröhre mit dem Finger etwa bis auf einen halben Zoll nähert, so sieht man zwischen beiden einen leuchtenden Funken, der mit einem schwachen knisternden Schalle hervorbricht, und im Finger ein schwaches Gefühl von Stechen hervorbringt. Im Dunkeln ist obige Lichterscheinung auffallender, auch sieht man einen bläulichen Schein an der Glasröhre dem Reibzeuge folgen, so wie man dasselbe fortbewegt. Ist die Glasröhre zu solchen Versuchen vorzüglich geschickt, von gutem grünen Glase, und recht gleichförmiger glatter Oberfläche, und hat man sie länger gerieben, so dafs sie recht stark elektrisirt worden ist,

---

1 S. *Elektrisirmaschine und Amalgama.*

so wird man einen eigenthümlichen Geruch wie nach Phosphor verspüren, und wenn man ihr mit dem Gesichte nahe kommt, etwas fühlen, gleichsam als ob ein feines Spinnengewebe gegen die Haut flöge.

Diese angeführten Merkmale sind die allgemeinsten der E. Das erste, die *Anziehung leichter Körperchen*, zeigt sich schon bei den schwächsten Graden derselben; die beiden letzteren sind aber nur bei den stärkeren Graden der durch bloſses Reiben erregten E. anzutreffen, insbesondere wenn das Glas zu einer eigentlichen Elektrisir-Maschine vorgerichtet, und durch ein Reibzeug in den el. Zustand versetzt wird. Auch scheint der Phosphorgeruch der Glas- oder positiven E. ausschlieſsend zuzukommen. Andere el. Erscheinungen äuſsern sich nur unter besondern Umständen unh Veranstaltungen.

Eben das, was durch das Reiben des Glases erregt werden kann, erfolgt auch, wenn man ein Stück *Bernstein, Copal, Colophonium, Siegellack, Schwefel*, einen *hölzernen* im Backofen wohl *ausgetrockneten* und *erwärmten Stock, Porcellan, ein seidenes Band* u. s. w. reibt. Doch stehen diese Körper im Ganzen in Ansehung der Intensität der angeführten Erscheinungen, z. B. was die Entfernung betrifft, bis zu welcher sie die leichten Körperchen anziehen u. s. w., dem Glase weit nach, zumal wenn ihre Oberfläche mehr rauh, und sie nicht durch Erwärmung vollkommen trocken gemacht sind. Ein feines recht glattes Siegellack kommt dem Glase am nächsten. Sehr oft bemerkt man, daſs solche, durch Reiben el. gewordene Körper, leichte Papier- oder Strohstückchen, Metallblättchen u. s. w. zwar anziehen, aber dann nicht wieder abstoſsen, sondern letztere daran hängen bleiben, welcher Fall vorzüglich dann statt findet, wenn die erregte E. nur schwach ist, und sich darum mit mehr Schwierigkeit von der geriebenen Oberfläche, vollends wenn diese recht glatt ist, mittheilt.

Man kann im Allgemeinen sagen, daſs beim Reiben aller Körper dasselbe wie beim Glase eintritt, nur bei vielen in einem sehr schwachen Grade, und nur bei Beobachtung anderweitiger Bedingungen, indem z. B. an Metallen, wenn sie, in der Hand gehalten, gerieben werden, auch eine sehr starke Elektricität, die etwa durchs Reiben an ihnen erregt würde, nicht zum Vorschein kommen könnte, wegen der augenblicklichen Ableitung derselben.

Solche Körper, wie die oben genannten, die durch Reiben merklich elektrisch werden, heifsen *elektrische an sich* oder *eigenthümlich elektrische, idioelektrische Körper*, und sind zugleich *Nichtleiter* oder *Isolatoren* der E.; die durch Reiben nicht merklich elektrisch zu werden scheinen, wie die Metalle, nennt man *unelektrische*, *anelektrische Körper*, und sie sind zugleich *Leiter* der E. Es lassen sich in Hinsicht dieser Eigenschaft, unter den obenangegebenen Bedingungen durch Reiben el. zu werden oder nicht, womit die Eigenschaft die E. zu leiten oder nicht zu leiten im Ganzen gleichen Schritt hält, alle natürlichen Körper unter die angegebenen zwei Hauptclassen bringen, doch so, dafs die Grenzlinie nicht scharf gezogen werden kann, indem es eben so wenig einen *vollkommenen Leiter*, als einen *vollkommenen Isolator* giebt, und die sogenannten *Halbleiter* den Uebergang von der einen Classe zur andern machen; endlich unter abgeänderten Umständen auch die Leiter durch Reiben merklich el. werden können, worüber das Nähere unter den Artikeln: *Isolatoren*, *Halbleiter* und *Leiter*, so wie unter der folgenden Rubrik nachzusehen ist.

Man nennt die Hand, oder überhaupt das, was den el. Körper reibt, *Reibzeug*, und eine Maschine, die durch ein beständiges Reiben ein Glas oder einen andern an sich el. Körper elektrisirt, eine *Elektrisirmaschine*. Es versteht sich indessen von selbst, dafs beim Reiben zweier Körper an einander jeder wechselseitig als der geriebene oder als das Reibzeug betrachtet werden kann.

Wenn man an das Ende der elektrisirten Glasröhre einen Metalldraht, so lang er auch sey, anbringt, und eine metallene Kugel daran befestigt, so zeigen Draht und Kugel jene el. Haupterscheinung, leichte Körperchen aus der Entfernung anzuziehen und dann wieder abzustofsen, so wie bei Annäherung des Fingers einen stechenden Funken zu geben, eben sowohl als die Glasröhre selbst. Man sagt daher, die E. der Glasröhre gehe in den Metalldraht und in die Kugel über, oder theile sich denselben mit. Zum Unterschiede nennt man die durchs Reiben erregte E. des Glases *ursprüngliche*, die in das Metall übergegangene aber, *mitgetheilte* E. Verbindet man dagegen die Metalkugel mit der Glasröhre durch eine sei-

dene Schnur, so giebt in diesem Falle die Kugel kein Zeichen einer E. Man sieht hieraus, daſs die Seide die E. nicht überführt, oder daſs sie die Mittheilung derselben verhindert. So verhalten sich alle an sich el. Körper, und eben das ist der Grund, warum sie auch Nichtleiter oder Isolatoren genannt werden. Der Medalldraht in dem ersten Falle leitete die E. der Glasröhre in die Kugel, das thun auch alle sogenannten unelektrischen Körper, und eben darum heiſsen sie *Leiter* oder *Conductoren*.

Wenn ein Körper mit lauter Nichtleitern umgeben ist, so heiſst er *isolirt*. Da die trockene Luft unter die Nichtleiter gehört, so ist ein Körper, der in trockener Luft an seidenen Schnüren hängt, auf einem Glasfuſse oder Harzkuchen und dgl. steht, isolirt. Ein solcher Körper kann seine E. nicht mittheilen, weil er lauter Nichtleiter berührt, die sie nicht überführen. Da jedoch keiner von diesen Körpern ein absoluter Nichtleiter ist, so wird auch der am besten isolirte Körper durch eine langsame Ableitung seine E. doch allmälig verlieren.

Das Wasser und alle flüssigen Körper, Luft und Oele ausgenommen, sind Leiter. Daher verwandeln sich alle Nichtleiter in Leiter, wenn sie feucht werden, da, wie wir in der Folge sehen werden, die E. im gewöhnlichen Falle nur an der Oberfläche der festen Körper fortgeleitet wird, und folglich dann an der Oberfläche die Schicht eines Leiters findet, so dienen die Körper um so weniger zum Isoliren, je stärker ihre hygrometrische Eigenschaft ist. Selbst die Luft leitet, wenn sie feucht ist; daher kommt es, daſs el. Versuche in feuchten Zimmern schlecht oder gar nicht gelingen, weil jeder elektrisirte Körper seine E. bald an die ihn berührende Luft abgiebt. Der feuchte Erdboden ist ein sehr guter Leiter, durch eine leitende Verbindung mit demselben, oder mit einem flieſsenden Wasser, welches mit der ganzen Wassermasse der Erdkugel in Verbindung steht, vermag man die stärkste E. abzuleiten, und jede Wirkung eines Körpers, die von sogenannter freier E. abhängt, aufzuheben.

II. Entgegengesetzte Elektricitäten.

Die Person, welche die Glasröhre reibt, oder überhaupt das Reibzeug wird durch dieses Reiben zugleich mit elektrisirt.

Ist es mit Leitern, und durch diese mit dem Erdboden verbunden, so wird man seine E. zwar nicht wahrnehmen, weil sie sich augenblicklich durch durch die Leiter der Erde mittheilt, ist es aber isolirt, so zeigt es die für den el. Zustand im allgemeinen charakteristischen Erscheinungen gleichfalls. So werden z. B. zwei Personen, welche beide auf einem kleinen, durch Glasfüſse wohl isolirten Schemel, einem sogenannten Isolatorium [1] stehen, und wovon die eine die Kleider der andern mit einem recht trockenen Katzenfelle wiederholt schlägt, beide dann leichte Körperchen anziehen, und sich auch wohl, wenn der Versuch unter den günstigsten Umständen angestellt wird, wechselseitig einen kleinen Funken geben. Aber es findet sich zwischen der E. der Röhre und des Reibzeugs oder jener beiden Personen ein merkwürdiger Unterschied, der durch die nachfolgenden Versuche ausgemittelt wird.

Wenn ein leichter isolirter Körper, z. B. ein an einem seidenen Faden hängendes Kügelchen von Hollundermark der Röhre genähert, von ihr angezogen und dann wieder zurückgestoſsen worden ist, so wird dieses Kügelchen, wofern es nicht inzwischen einen Ableiter zur Erde berührt hat, nicht weiter von der Röhre angezogen, sondern zurückgestoſsen. Nähert man ihn aber in diesem Zustande dem Reibzeuge, vorausgesetzt, daſs dasselbe an sich ein Nichtleiter ist, oder im Falle es ein Leiter ist, auf eine schickliche Weise beim Reiben mit einer isolirenden Handhabe gehalten wurde, so zieht ihn dieses stark an. Es stöſst ihn aber dann, nach erfolgter Berührung, wieder ab, und in diesem Zustande der Abstoſsung zieht ihn nun die Röhre von neuem an.

Mehrere bewegliche isolirte, z. B. an feinen seidenen Fäden hängende Kork- oder Hollundermarkkügelchen, welche die Röhre angezogen und dann wieder abgestoſsen hat, stoſsen sich unter einander selbst zurück. Auch Kügelchen, welche das Reibzeug angezogen und wieder abgestoſsen hat, stoſsen einander selbst ab. Beide behalten dieses Merkmal der E., wenn sie gut isolirt sind, was vorzüglich eine recht gut isolirende, also eine recht trockene Luft voraussetzt, eine ziemliche Zeitlang. Bringt man aber ein Kügelchen, das die Röhre berührt hat, gegen ein solches, welches das Reibzeug berührt

1 Vergl. *Isolatoren.*

hat, so ziehen beide einander an, und verlieren (vorausgesetzt dafs sie gleich sind, und die el. Spannung beider gleich grofs ist) sofort ihre E. gänzlich, so dafs auch nicht die mindeste Spur davon zurückbleibt, und werden dann beide gleichmäfsig sowohl vom Reibzeuge als von der geriebenen Glasröhre angezogen.

Wenn man Gröfsen, die beim Zusammenkommen einander vermindern, und wenn sie gleich sind, aufheben, entgegengesetzte nennt, so kann man hier die Elektricitäten des Glases und seines Reibzeuges als entgegengesetzte betrachten, und nach der Analogie entgegengesetzter Gröfsen mit dem Zeichen + und — E. belegen, wobei, da überhaupt nur zunächst dieser Gegensatz ausgedrückt werden sollte, willkürlich das + oder — der einen oder andern E. beigelegt werden könnte, aus andern, in der Folge zu entwickelnden Gründen aber die E. des Glases das + Zeichen erhalten hat.

Die angeführten Erscheinungen geben alsdann den Satz: *Gleichartige Elektricitäten stofsen sich zurück, ungleichartige ziehen sich an.* Die Glasröhre zog die Hohlundermarkkugel an, theilte ihr + E. mit, und stiefs sie darauf zurück, weil beide nur + E. hatten. Derselbe Fall fand in Hinsicht auf die vom Reibzeuge angezogene Kugel statt, und eben so stiefsen die mehreren Kugeln die + E. oder — E. hatten, einander zurück. Aber eine mit + E. und eine mit — E. zogen sich an und hoben durch ihre wechselseitige Einwirkung auf einander und Ausgleichung ihrer Elektricitäten alle E. auf, weil + E — E von wechselseitig gleicher Stärke = 0 ist.

Reibt man statt der Glasröhre eine Stange Siegellack oder einen Harzkuchen mit der Hand, oder noch besser mit einem Hasen- oder wildem Katzen-Balge, so bekommt das Siegellack, das Harz dieselbe E., welche in dem obigen Versuche, wo Wollenzeug, Seidenzeug, oder ein mit Amalgama eingeriebener Lappen von Leder zum Reiben angewandt wurden, das Reibzeug angenommen hatte, und welche wir vorläufig — E. genannt haben, und das Reibzeug, wenn es isolirt ist, bekommt die E. des Glases, oder + E. Denn ein Hollundermarkkügelchen, dem man an einer geriebenen Glasröhre die Glaselektricität oder + E. gegeben hat, und welches von dieser dann zurückgestofsen wird, wird von der geriebe-

nen Siegellackstange, oder von einer Hollundermarkkugel, die durch Berührung der Siegellackstange die E. derselben angenommen hat, angezogen, und von dem Reibzeuge, oder einer Kugel, die die E. desselben erhalten hat, abgestofsen. Daher hat DU FAY, der die entgegengesetzten Elektricitäten zuerst bemerkte [1], ihnen den Namen der *Glas-* und *Harz-Elektricität* (electricité vitreuse et resineuse) beigelegt, eine Benennung, welcher die französischen Physiker seitdem treu geblieben sind. FRANKLIN nannte sie positive und negative oder Plus und Minus E., weil er die Erscheinungen der Glas E. von einem Ueberflusse oder einer Anhäufung der E. die der Harz E. dagegen von einem Mangel oder Entziehung derselben E. herleiten zu können glaubte, und LICHTENBERG [2] hat dafür die bequemeren Beziehungen + und — eingeführt, die über die Natur dieser beiden Elektricitäten an sich nichts entscheiden, sondern nur die Uebereinstimmung ihres wechselseitigen Verhaltens mit dem von entgegengesetzten Gröfsen gegen einander ausdrücken sollen, welche ich hier durchgängig beibehalte.

Alle el. Erfahrungen bestätigen den Hauptsatz, und die Theorie hat die Nothwendigkeit dieses Erfolges nachzuweisen, dafs nämlich beim Reiben zweier Körper an einander, wenn dadurch E. erregt wird, das Reibzeug, wenn es isolirt ist, allezeit die entgegengesetzte E. von derjenigen zeigt, welche der geriebene el. Körper erhalten hat. Man kann aber fast allen el. Körpern nach Belieben + E. oder — E. geben, je nachdem man das Reibzeug oder andere Umstände beim Reiben verändert. Um dergleichen Versuche anzustellen, ist es nothwendig, beide Körper, die man an einander reiben will, zu isoliren. Sind sie starr, so kann man sie am passendsten an Handhaben von Glas oder Harz befestigen. Ist es thunlich, so thut man am besten, die Substanzen in Form von Platten anzuwenden, um sie in einer gröfsern Oberfläche an einander zureiben. Man kann auf diese Weise einen starren Körper, und ein Stück Zeug, oder auch zwei Stücke Zeug, Pelzwerk u. s. w. an einander reiben. Hat

---

1 Mémoires de Paris 1733.

2 Comment. super nova methodo etc. in Comment. Societ. Goetting. Class. Math. Tom. I.

man das Reiben einige Augenblicke fortgesetzt, so trennt man beide Körper, und prüft ihre E., indem man sie an der isolirenden Handhabe hält. Man erkennt und unterscheidet sie am leichtesten vermittelst eines Kork oder Hollundermarkkügelchens, das an einem seidenen Faden an einem Glasstäbchen isolirt herabhängt, und dem man zuvor eine beliebige E. mitgetheilt hat, oder die schwächsten Grade noch sicherer an einem Goldblatt-Elektrometer[1]. Man theilt den Goldblättchen desselben entweder + oder — E. mit, wodurch sie nur um einen gewissen Winkel divergiren. Findet die Divergenz durch + E. statt, so wird bei Annäherung eines Körpers, der die gleiche E. hat, die Divergenz zunehmen, bei Annäherung eines mit — E. versehenen dagegen abnehmen. Bei starker E. der gegebenen Körper muſs man vorsichtig mit der Annäherung derselben seyn, und die Art der Veränderung zumal bei den so empfindlichen Goldblättchen, schon aus einer groſsen Entfernung versuchen, denn nach dem Gesetze der el. Wirkungskreise kann bei schneller Annäherung, wenn z. B. die Goldblättchen mit — E. divergiren, eine starke positive E., welche schon aus gröſserer Entfernung das schwache — E. gebunden und die Divergenz aufgehoben hat, durch dann erfolgende Vertheilung von 0 und Zurücktreibung von + E. eine neue gleiche Divergenz, wie sie im Anfange von — E. herrührte, hervorbringen, welche bei weiterer Annäherung zunimmt, und dadurch die Täuschung veranlassen, als wenn der el. Körper mit — E. einwirkte. Umgekehrt gilt dasselbe in Beziehung auf die durch + E. divergirenden Goldblättchen, wenn ein mit starker negativer E. versehener Körper zu schnell genähert wird. Am einfachsten, leichtesten und sichersten bedient man sich des durch Behrens und Bohnenberger angegebenen Blattgold-Elektrometers, welches die Art der mitgetheilten E. unmittelbar angiebt. Statt eines Elektrometers kann man auch ein einfaches, sehr bewegliches an einem seidenen Faden von einem Glasstabe herunterhängendes Hollundermarkkügelchen, dem man vorher + oder — E. mitgetheilt hat, in Anwendung bringen, das durch die erfolgte Anziehung oder Abstoſsung die mit der seinigen ungleichartige oder gleichartige E. des geriebenen Körpers verrathen wird.

---

1 S. *Elektrometer.*

Eine besondere Art, diese Versuche über die Erregung der E. durch Reiben der Körper an einander anzustellen, ist das Durchsieben der Körper in Pulvergestalt durch Siebe von verschiedener Beschaffenheit, wobei gleichfalls eine Reibung statt findet, und die Siebe jedesmal die entgegengesetzte E. des durchgesiebten Pulvers zeigen. Wenn man auf diese Weise ein Gemenge von zwei Pulvern z. B. Mennig mit Schwefelblumen oder semen lycopodii gemengt und in ein leinenes Läppchen gebunden, auf positiv und negativ elektrisirte Stellen einer Glas- oder Harzplatte beutelt, so wird dasjenige Pulver, das an dem andern negativ geworden ist, von den positiven, das andere von den negativen Stellen angezogen, jene Stellen stellen Sterne, diese runde Flecken dar[1].

Es sind dergleichen Versuche von der Zeit an, daſs Dufay zuerst den Unterschied der beiden Elektricitäten entdeckt hat, von sehr vielen Physikern angestellt worden, unter denen besonders Boulanger[2], Symmer[3], Wilson[4], Cigna[5], Wilke[6], Bergmann[7], Herbert[8], Kortum[9], Aldini[10], v. Arnim[11] und andere genannt zu werden verdienen. Man hat aus diesen Versuchen Tabellen gezogen, in denen sich leicht übersehen läſst, welche E. gegebene Körper erhalten, wenn sie mit andern gerieben werden. Cavallo, Lichtenberg[12], Hauy[13] der sehr viele Mineralien in dieser Hinsicht prüfte, Dondorf[14] haben namentlich dergleichen Tabellen geliefert. Am vollständigsten

---

1 S. *Figuren elektrische.*

2 Traité de la cause et des phénomènes de l'électricité. Paris 1750. 8.

3 Phil. Transact. I. 1. P. I. n. 36.

4 Ebend. 1760. vol. LI.

5 Miscellan. Societ. Taurinens. anni 1765 S. 31 u. f.

6 De electricitatibus contrariis Rostock 1757.

7 Dessen Opusc. phys. et chem. Edit. Hebenstreit V. 399.

8 Theoria phaenomenorum electricorum. Editio altera et emendata. Vindob. 1788.

9 Voigt's Mag. X. St. 2. S. 1. Cavallo a. a. O. II. 19.

10 G. IV. 422.

11 G. V. 33.

12 In Erxlebens Anfangsgründen.

13 Der Naturlehre VI. Auflage 1794. S. 478.

14 Lehre von der Elektr. Erfurt 1784.

hat aber J. W. Ritter[1] diesen Gegenstand bearbeitet. Dieser hat nicht bloſs alle Versuche seiner Vorgänger in einer Reihe von Tabellen zusammengestellt, sondern sich auch bemüht, gewisse allgemeine Gesetze aufzustellen, nach welchen sich zum voraus die Art der E., welche von je zwei an einander geriebenen Körpern jeder derselben erhält, bestimmen läſst, und welche auf die Kräfte selbst, welche hierbei thätig sind, hinleiten können. Was zuerst die ideoelektrischen Körper oder die Isolatoren betrifft, mit welchen dergleichen Versuche am häufigsten angestellt sind, so sucht Ritter für diese das Hauptgesetz zu begründen, daſs sie eine groſse el. Spannungsreihe mit einander bilden, die der Hauptsache nach dieselben Eigenschaften besitze, welche die Spannungsreihe der Erreger des Galvanismus, die durch bloſse wechselseitige Berührung das el. Gleichgewicht stören, charakterisirt[2]. An dem einen Ende der Reihe würde ein mit allen übrigen Isolatoren negativ, an dem andern ein mit allen übrigen positiv werdender Körper sich befinden, und die Körper so auf einander folgen, daſs der dem negativen Ende näher liegende mit allen darauf folgenden negativ, diese positiv durch Reiben mit ihm werden. Die Möglichkeit der Anordnung der Isolatoren in eine solche Spannungsreihe beruhet auf dem Erfahrungssatze, daſs wenn von drei Körpern a, b, c der Körper a mit dem Körper b positiv, letzterer negativ, und b mit c positiv, letzterer negativ wird, um so mehr auch a mit c positiv ausfallen werde. Dem Gesetze der galvanischen Spannungsreihe gemäſs, wenn es in seinem vollen Umfange hier seine Anwendung fände, müſste ferner jeder Körper a, der dem negativen Ende näher steht, mit irgend einem Körper x um so stärker negativ, und dieser um so stärker positiv damit werden, je mehrere Körper in der Reihe zwischen diesen beiden sich befinden, oder je näher jener Körper x dem positiven Ende stände. Vergleicht man nun die mannichfaltigen Versuche, die von so vielen Experimentoren angestellt worden sind, unter einander, so scheint sich wirklich eine solche dem besagten Spannungsgesetze unterworfene Reihe zu ergeben. Folgende Tabelle stellt einige der bekanntesten Isolatoren diesem Gesetze gemäſs geordnet auf:

---

1 Das elektr. System der Körper. Leipzig 1805.

2 S. *Galvanismus*.

— *Schwefel, Bernstein, Colophonium, Siegellack, schwarze Seide, weifse Seide, Papier, Wolle, Glas, Turmalin, Hasenfell, Kaninchenfell, Diamant, Katzenfell* +

Von diesen Körpern wird der dem obern negativen Ende näher liegende Körper mit allen darauf folgenden negativ, und diese mit ihm positiv, so dafs also gleichsam der Schwefel der absolut negative, Katzenbalg der absolut positive ist. Aber nicht blofs die Isolatoren unter sich, sondern auch die Isolatoren und Leiter, scheinen eine solche, beide zugleich umfassende, Reihe zubilden, von welcher beifolgende Aufzählung einige der merkwürdigeren in ihrer gesetzmäfsigen Folge zeigt:

— *Schwefel, natürliches Braunstein-Oxyd (Grau Mangan-Erz), schwarze Seide, Silber, Wolle, Kupfer, Glas, Zink, Diamant* +

Ritter zieht aus dieser zweiten Zusammenstellung, verglichen mit der Spannungsreihe der galvanischen Erreger, welche zugleich die Reihe der Leiter ist, das allgemeine Resultat: dafs die *Spannungsreihe der Leiter mit derjenigen der Isolatoren nur eine allgemeine Spannungsreihe ausmache*, indem die Glieder der Reihe der Leiter zwischen denen der Reihe der Isolatoren eben so vertheilt, als gegen sich unter einander selbst liegen; und so umgekehrt auch die Glieder der Reihe der Isolatoren, zwischen denen der Reihe der Leiter, und die Zwischenräume in der einen gleichsam nur die Lücken waren, die durch die Glieder der andern ausgefüllt wurden, dafs es nur *ein* el. System giebt, welches Alles und Jedes, was von Körpern überhaupt auf Erden ist, umfafst.

Ritter hat einige interessante Ansichten über die Abhängigkeit dieses merkwürdigen und gesetzmäfsigen Verhaltens der Körper in der Elektricitätserregung durch Reibung von anderweitigen Eigenschaften derselben aufgestellt, Ansichten, welche für die Theorie der Elektricitätserregung überhaupt wichtig sind, eine Theorie, welche dahin streben mufs, diese Erregung, geschehe sie nun auf gewöhnlichem Wege, durch eine dem ersten Anscheine nach blofse mechanische Einwirkung der Körper auf einander oder auf galvanischem Wege durch einen sogenannten chemischen Procefs, wie die meisten Physiker anzunehmen geneigt sind, wo möglich aus *einem* Principe abzuleiten. In der Reihe der vollkommenen Leiter scheint allerdings eine solche Eigenschaft nachgewiesen werden zu können, von welcher die

Stelle, welche ein Körper in dieser Reihe einnimmt, gesetzmäfsig abhängt, nämlich der Grad der Oxydirbarkeit desselben, oder seiner Verwandtschaft zum Sauerstoff, so zwar, dafs im geraden Verhältnisse derselben ein Körper näher nach dem positiven Ende zu gelegen ist, und von je zwei solchen Leitern der oxydirbarere stets der positive wird. Dagegen scheint es mehr Schwierigkeit zu haben, eine, dasselbe Gesetz befolgende, Abhängigkeit der Isolatoren in ihrem el. Verhalten unter einander und mit den Leitern nachzuweisen, da sehr viele Isolatoren sich einem solchen chemischen Processe, nach welchem die Oxydirbarkeit bestimmt wird, gänzlich entziehen. Vielmehr bestimmen hier mehr gewisse physische Eigenschaften und insbesondere die Beschaffenheit der Oberfläche vorzugsweise dieses Verhältnifs. In dieser Hinsisht scheint besonders die *Rigidität* oder der *Grad* der *Starrheit* und die Modification derselben, welche durch Härte und Weichheit bezeichnet wird, einen vorzüglichen Einflufs zu äufsern. Die härtesten unter den Isolatoren sind auch diejenigen, welche vorzüglich geneigt sind, positive Elektr. anzunehmen, und der härteste unter allen, der Diamant, ist auch der am meisten positive. Alle wirklichen Edelsteine, die härter als Glas sind, werden mit diesem positiv, das Glas negativ. Bernstein ist härter als Schwefel, und wird auch mit diesem positiv, Siegellack ist härter als Talk und Bildstein, und weicher als Glimmer; mit ersterem wird er Haüy's Versuchen zufolge, positiv, mit letzterem negativ. Auch die Art, wie die verschiedene Temperatur, welche die Rigidität modificirt, zugleich das elektrische Verhalten der Körper gegen einander bestimmt, stimmt mit dem angegebenen Gesetze überein. Jederzeit erhält nämlich von zwei sonst völlig gleichen Exemplaren eines und desselben Isolators beim Reiben an einander der wärmere — E., der kältere + E. von Herbert, der solche Versuche an Schwefel, Siegellack, Seide und Glas anstellte, fand schon einen Temperaturunterschied von nicht 10° R. vollkommen dazu hinreichend[1]. Auch die Art der Vertheilung der Elektricitäten an zwei Körper von gleicher Beschaffenheit, wenn sie so an einander gerieben werden, dafs für den einen der Werth der Reibung gröfser ausfällt, als für den andern, reducirt sich gröfstentheils hierauf. Es gehören hierher alle

1 S. dessen Theoria phaenomenorum electricorum. Ed. alt. p. 158.

Versuche, wenn man Siegellackstangen, Glasstäbe, Wollenfäden, Seidenfäden, seidene Bänder u. s. w. so über einander hinführt, daſs das eine von ihnen hierbei beständig nur an *einer Stelle* gerieben wird, während bei dem andern die Reibung sich über seine *ganze Länge* erstreckt. Die erstere Stelle wird nämlich dabei um vieles wärmer, als die, mit ihr in Conflict kommenden Stellen des andern Körpers, und sobald dieser Unterschied eingetreten ist, geht die ihr proportionale el. Spannungssetzung vor sich, es tritt nämlich die *negative* E. stets an dieser *wärmeren* Stelle auf.

Es läſst sich vielleicht auf diesen Unterschied der verschiedenen Erwärmung beim Reiben auch der Einfluſs zurückführen, den *Glätte* und *Rauheit der Oberfläche* auf die Art der E. hat, die beim Reiben zum Vorschein kommt. Von zwei sonst gleichartigen Körpern nämlich, die an einander gerieben werden, erhält unter übrigens ganz gleichen Umständen beim Reiben derjenige mit rauher oder matter Oberfläche — E. der andere mit glatter dagegen + E. Der Körper mit rauher Oberfläche (das matt geschliffene Glas z. B.) muſs nämlich beim Reiben wärmer werden, womit denn auch die Rigidität relativ abnimmt. Der Einfluſs, welchen bei seidenen Bändern, Taffent die *Farbe* auf die Elektricität, die an ihnen hervortritt, ausübt, scheint auch von der Glätte und Rauheit der Oberfläche abzuhängen, die allerdings durch die Natur des Pigments bestimmt wird, so wie dann weiſse Seide, die sich gegen schwarze, (die ihre Farbe den Galläpfeln verdankt) positiv verhält, in die Kategorie dieser letztern tritt, wenn sie in Galläpfeldecoct getaucht wird. Damit stimmt auch die allgemeine Regel überein, die Coulomb[1] aus seinen Versuchen für die Art der E., die an jedem Körper erscheint, gezogen hat, daſs diejenigen Substanzen, welche sich beim Aneinanderreiben am meisten ausdehnen, welche also die relativ weniger cohärenten werden, — E., jene hingegen, welche sich dabei am wenigsten ausdehnen + E. erhalten. Einen Beleg hierzu giebt nach seinen Versuchen wollenes Zeug, welches *kalt* an polirten Metallen + E., *kalt* an unpolirten Metallen — E., *erwärmt* an polirten und unpolirten Metallen stets — E. giebt.

---

1 Aus dessen handschriftlichem Nachlaſs von Biot in s. Traité de physique expérimentale et mathématique II. 354.

Daſs Körper im Fortgange des Reibens an einander die zuerst an ihnen aufgetretenen Elektricitäten in umgekehrter Vertheilung zeigen, reducirt sich in manchen Fällen auf die eben angeführten Gesetze. Reibt man z. B. weiſses seidenes Zeug mit einem Stücke trockenen Papiers, so wird die Seide gewöhnlich — el. erwärmt man aber das Papier, so wird dieses — el. die Seide + el. Dieses durch die Wärme erregte Vermögen nimmt aber wieder ab, wenn das Papier wieder erkaltet, und es giebt einen Moment, in welchem seine el. Disposition der Seide völlig gleich ist; in dieser Periode bringt das Reiben beider Körper kein merkliches Zeichen irgend einer E. hervor. Ist dieser Zeitpunct vorüber, so werden die Umstände für die Positivität des Papiers durch weiteres Erkalten desselben allmälig noch günstiger, während dieselben der Negativität der Seide gleichgünstig bleiben, und diese tritt dann wieder mit — E., jenes mit + E. auf.

C. H. Müller, der in seinen Anmerkungen zu Singer's Elementen der Elektr. diese und mehrere andere Erfahrungen über die Vertheilung der beiden Elektricitäten an die Körper beim Reiben zusammengestellt hat, glaubt das allgemeine Princip, aus welchem sich jene gesammten Erfolge bei aller scheinbaren Regellosigkeit und Wandelbarkeit gesetzmäſsig ableiten und jedesmal bestimmen lassen, in folgendem Ausdrucke am naturgemäſsesten aufgefaſst zu haben. Werden die Oberflächen zweier Körper an einander gerieben, so ist diejenige, deren integrirende Theile am wenigsten von einander weichen, und ihre Lage unter sich wenig oder gar nicht verändern, am geneigtesten + E. anzunehmen, und diese Neigung vermehrt sich durch einen vorübergehenden Druck (das Streben nach Auſsen zu wirken ist mit Widerstand gegen Einflüsse und Eindrücke von Auſsen verbunden). Im Gegentheile erlangt die Oberfläche, deren Theilchen durch die Rauheit der andern Oberfläche oder durch irgend eine andere Ursache am meisten von einander entfernt werden, hierdurch ein Streben — E. anzunehmen und dieses Streben vermehrt sich, wenn die Oberfläche eine wirkliche Ausdehnung erfährt (das Streben, Wirkungen von Auſsen in sich aufzunehmen, ist mit der Eigenschaft des Nachgebens eins). Je mehr in diesem Act die Oberflächen entgegengesetzt sind, desto energischer ist die E., die sich auf ihnen entwickelt, und sie wird in dem Maſse schwächer, als sie sich einander

gleichen; wäre eine vollkommene Gleichheit möglich, so würde sie Null werden. Wenn auch diese Bestimmung das fragliche Verhältnifs auf ein zu allgemeines des Wirkungsvermögens und der Receptivität, des Widerstandes und des Nachgebens zurückführt, um einen bestimmten Begriff von el. Erscheinungen als solchen geben zu können, so hat meiner Meinung nach Müller doch die richtige Beziehung aufgefafst, und es läfst sich nicht absehen, wie derselben, vor der Hand wenigstens, eine andere auf irgend eine chemische Eigenschaft gegründete, substituirt werden könnte, wie Ritter es zu thun versucht hat, da er Hydrogeneität als Aequivalent der Rigidität aufstellte, und somit das Verhalten der Isolatoren unter einander und mit den Leitern unter dasselbe Gesetz zu bringen bemüht war, das die Leiter selbst befolgen, indem Hydrogeneität als eins mit Oxydabilität betrachtet werden könnte. Wenn auch der Diamant, vermöge seiner rein verbrennlichen Natur, eine solche Parallelisirung noch zuliefse, so sieht man doch auf keine Weise ein, wie von den meisten Edelsteinen und künstlichen Gläsern, welche aus am vollkommensten verbrannten aufs Höchste oxydirten Metallen bestehen, Etwas dergleichen behauptet werden kann. v. Arnim[1] sucht die Elektricitätserregung dur Reiben, so wie auf jede andere Weise und die Art der Vertheilung der beiden Elektricitäten unter das allgemeine Gesetz zu bringen, dafs hierbei jedesmal eine Aenderung der Wärmecapacität eintrete, und dafs der Körper, dessen Wärmecapacität im Verhältnifs zu einem andern sich vergröfsert, negativ, derjenige dagegen, dessen Wärmecapacität sich vermindert, positiv el. werde. Die einfache Erfahrung der positiven E. des Wasserdampfes, der negativen des zurückbleibenden Wassers spricht indessen schon dagegen, da ja die Wärmecapacität des Wasserdampfes offenbar erhöhet ist, nicht zu gedenken, dafs bei Reibungsversuchen eine solche Wärmecapacitätsänderung nicht nachgewiesen werden kann.

Uebrigens giebt es noch manche Erfahrungen, die sich bis jetzt unter kein Gesetz recht bequemen wollen, wie namentlich mehrere von Dessaignes[2] beobachtete Erscheinungen, so wie dann auch Umstände, die unserer gewöhnlichen Beobachtung sich vollkommen entziehen, auf die Art der in solchen Ver-

1 Dessen elektr. Versuche in G. V. 33.

2 S. Schweigger's Journal IX. 111.

suchen zum Vorschein kommenden E. ihren Einfluſs äuſsern. Der Cyanit (Hauy's Disthène) giebt ein auffallendes Beispiel hiervon. Einige Krystalle von diesem Mineral erlangen vermittelst des Reibens beständig + E. andere — E. und bei einigen contrastiren beide Elektricitäten auf zwei entgegengesetzten Flächen, ohne daſs weder Auge noch Gefühl das geringste Merkmal dieses Unterschiedes in Glanz-Politur oder Farbe der Flächen entdecken können. Uebrigens hat Hauy, dem wir diese el. Beobachtung verdanken, das Verhalten der Mineralien beim Reiben mit als ein Unterscheidungskennzeichen derselben von einander in Anwendung gebracht, und eine Menge Versuche zur Ausmittelung desselben angestellt. Um bei Leitern, also namentlich den Metallen und Erzen, dieses Verhalten zu prüfen, klebte er ein Stückchen des Minerals, das er, wenn es z. B. ein Metall war, zuvor eben feilte, durch Wachs an eine Stange Siegellack, führte es dann 5 oder sechsmal auf einem Stücke Tuch hin und her, und berührte dann damit die Collectorplatte des Condensators. Diese Operation wiederholte er mehrmals. Wurde dann der obere Deckel aufgehoben, so gingen die Strohhälmchen des Elektrometers, auf welchen der Condensator aufgeschraubt war, mit + E. oder — E. aus einander. Hierbei erhielt er folgende Resultate: + gaben: Zink (stark) Silber, Wismuth (stark) Kupfer, Blei, Eisenglanz. — gaben Platin, Gold, Zinn, Antimon, Kupferfahlerz, (stark) Kupferglanzerz (stark) Bleiglanz, Schwefelerz (stark) Antimonsilber, Glaserz (stark) Kupfernickel, Glanzkobolt, gemeiner Speiskobolt, graues Antimonerz, Schwefelkies, magnetischer Eisenstein. Im Ganzen zeigte sich dieses Verhalten als ein rein constantes, nur Eisenglanz, magnetischer Eisenstein und auch Stahl zeigten in verschiedenen Exemplaren ein abweichendes Verhalten von einander. Die Stärke der E. welche einige annehmen, wie Kupferfahlerz und Kupferglanzerz, die, wenn sie 8—10mal über das Tuch hingeführt sind, die Strohhälmchen zum Anschlagen bringen, ist vorzüglich charakteristisch für dieselben [1].

Auch durch Reiben von flüssigen Körpern an starren können ebensowohl die entgegengesetzten Elektricitäten erregt werden. Dies beweisen schon auffallend genug die luftleer ge-

---

1 S. Annales du Museum d'histoire nat. III. 309.

machten Röhren, in welchen Quecksilber hin und her bewegt wird[1] und DESSAIGNES's oben angeführte Versuche beziehen sich vorzüglich auf Elektricitätserregung durch Eintauchen verschiedener Körper in ein Quecksilberbad von verschiedener Temperatur und Wiederherausziehen aus demselben. Doch fehlt es in dieser Hinsicht noch an einer hinlänglichen Anzahl von genauen Versuchen, und die Hauptschwierigkeit hierbei liegt in der Adhäsion der Flüssigkeiten an den starren Körpern. Damit nämlich die durch Reiben erregte E. zum Vorschein komme, ist eine nothwendige Bedingung, dafs die Körper von einander getrennt, und jeder für sich untersucht werde, denn so lange sie sich mit einander in Berührung befinden, binden sich ihre Elektricitäten wechselseitig, und wirken nicht nach Aufsen.

Auch gasförmige Körper erregen durch eine Art von Reibung an den starren Körpern E., wie man daraus ersieht, dafs, wenn man wiederholt mit einem Blasebalge Luft gegen eine Glasplatte hinbewegt, diese auffallende Spuren von + E. annimmt und die Luft folglich — el. geworden seyn mufs.

Wir haben oben gesehen, dafs die beiden Elektricitäten ihre Natur vorzüglich in ihrem Conflicte mit einander verrathen, in welchem sie gleichsam als entgegengesetzte Kräfte gegen einander sich verhalten und sich wechselseitig aufheben. Man kann diesen Gegensatz durch einen Versuch auffallend darstellen. Zwischen zweien Körpern, wovon der eine + E. der andere — E. in gleichem Grade zeigt, sey nun diese E. durch Reibung ursprünglich oder durch Mittheilung von aufsen erzeugt worden, spiele ein dritter leicht beweglicher z. B. eine Hollundermarkkugel an einem seidenen Faden hängend hin und her, und werde wechselsweise von dem einen und dem andern angezogen und abgestofsen. Dadurch wird immer ein Theil der E. des einen in den andern übergeführt, und neutralisirt, bis endlich beide scheinbar ihre E. völlig verloren haben, d. h. keiner derselben weitere Spuren von el. Wirksamkeit zeigt. Auch wird ein isolirter Leiter gar nicht elektrisirt, wenn er mit einem + el. und einem gleich starken — el. Körper zugleich verbunden ist.

Aufser diesem Gegensatze, der bei der Prüfung gegen die

---

1 S. *Leuchten, elektrisches.*

E. einer geriebenen Glasröhre oder Siegellackstange jedesmal die besondere Natur der zu untersuchenden E. anzeigt, kann man beide Arten von E. auch an den Erscheinungen ihres Lichtes im Dunkeln, ihrer verschiedenen Einwirkung auf unsere Sinnenorgane, und ihrem verschiedenen chemischen Verhalten unterscheiden, welche Unterschiede jedoch nur unter bestimmten Umständen, bei Anwendung eigenthümlicher Vorrichtungen und für bestimmte Grade derselben auffallend werden. Wenn man einem positiv elektrisirten Körper eine leitende Spitze entgegen hält, so zeigt sich an derselben, je nachdem sie mehr fein zugespitzt oder etwas abgestumpft ist, ein leuchtender Punct oder Stern mit Zischen begleitet, hält man hingegen eben diese Spitze gegen einen Körper, der — E. hat, so zeigt sich statt des Punctes oder Sternes ein Feuerbüschel, dessen violette Strahlen von der Spitze aus divergiren, und mit merklichem Knistern wie sich ausbreitende Aeste mit Seitenzweige von einem kurzen Stamme ausgehen. Ist der el. Körper selbst mit einer Spitze versehen, und hält man einen platten Leiter dagegen, so sind die Erscheinungen umgekehrt, der Stern zeigt sich, wenn der Körper, mit welchem die Spitze verbunden ist, — E., der Feuerpinsel, wenn der Körper + E. hat. Indessen ist diese Verschiedenheit, wenn man ohne vorgefaſste Meinung die Erscheinung bloſs an sich auffaſst, mehr nur eine gradative als specifische, und die Form jener Lichtausströmung gewährt an und für sich kein sicheres Unterscheidungsmerkmal. Was die früheren Vertheidiger der Franklin'schen Theorie, namentlich Beccaria[1], Cavallo und andere nur als einen leuchtenden Punct gelten lassen wollten, ist in der That nur ein Feuerpinsel im Kleinen mit weniger Knistern als beim positiven Feuerpinsel begleitet. Steht eine nicht zu feine Spitze dem abgerundeten Ende eines durch eine sehr starke Maschine zu hoher Spannung geladenen Leiters entgegen, so zeigt sich an derselben ein sehr merklicher Feuerpinsel und eine etwas abgestumpfte Spitze, die mit dem Leiter des Reibzeuges meiner sehr kräftigen Elektrisirmaschine[2] verbunden ist, giebt mir im Zustande der vollen Wirksamkeit dieser letzteren einen merklichern und stärker zischenden Feuer-

---

1 Elettricismo artificiale 1753. 4. S. 63.

2 S. *Elektrisirmaschine.*

pinsel, als eine sehr feine Spitze, die mit dem positiven Conductor einer mittelmäfsigen Elektrisirmaschine verbunden ist. Auch kann ich in der Farbe der Strahlen beider Feuerpinsel keinen wesentlichen Unterschied finden. In dem Falle, wenn zwei Spitzen gegen einander gekehrt sind, wovon die eine mit einem Leiter verbunden ist, dem fortdauernd + oder — E. zugeführt wird, sind an beiden die bestimmten Feuerbüschel auf das deutlichste zu erkennen welche ihre Grundflächen gegen einander kehren, nur dafs bei gleicher Feinheit der Spitzen der gröfsere allemal an derjenigen Spitze ist, welche + E. hergiebt. Dafs aus stumpfen Spitzen die Feuerpinsel ansehnlicher ausfallen, hat seinen Grund in der gröfsern Spannung, zu welcher der Leiter elektrisirt werden kann[1]. Diejenigen Physiker, welche in dem Lichte der negativen Spitze mehr nur einen blofsen Punct, als einen kleinen Feuerbüschel erblickten, und diesen leuchtenden Punct mehr von einem Ein- als Ausströmen ableiteten, wollten im Allgemeinen den wesentlichen Unterschied zwischen + E. und — E. finden, dafs sich bei verschiedenen Versuchen ein entschiedenes Ausströmen einer Materie aus denjenigen Körpern zeige, welche + E. haben, und ein Eindringen in diejenigen, an welchen — E. sich finde, gerade so als ob das + E. in einem Ueberflusse, das — E. in einem Mangel von el. Materie bestände; wir werden aber an seinem Orte bei der nähern Kritik dieser Versuche, die unter dem Artikel: *Elektrisirmaschine* und *Flasche, elektrische,* ihre Stelle am schicklichsten finden, nachzuweisen suchen, dafs sie dieses auf keine Weise darthun, dafs vielmehr ebensowohl aus dem — E. habenden Körper etwas auszuströmen, oder vielmehr von ihm in den Raum hinaus mit bewegender Kraft thätig zu seyn scheint, als aus dem + el. Ein merkwürdiges Unterscheidungsmerkmal für die beiden Arten von E. hat Lichtenberg in den verschiedenen Harzstaubfiguren, welche sie unter gewissen Umständen hervorbringen, nachgewiesen[2].

Die verschiedene Art der Einwirkung beider Elektricitäten auf unsere Sinnenorgane zeigt sich nur in ganz einzelnen Fällen, und wird bei Betrachtung der Wirkungen der Volta'schen Säule

1 S. *Spitzen.*

2 S. *Elektrophor.*

näher erörtert werden. Nur möge hier vorläufig die Bemerkung stehen, dafs der aus Spitzen ausströmende positive Feuerbüschel auf der Zunge einen sauern Geschmack, der negative dagegen mehr eine brennende Empfindung verursacht. Auch die merkwürdige Verschiedenheit in dem chemischen Verhältnisse der beiden Arten von E., wodurch man sie in bestimmten Fällen erkennen und von einander unterscheiden kann, wird am schicklichsten unter dem Artikel *Galvanismus* näher beleuchtet werden.

III. Erregung der ursprünglichen Elektricität.

Es giebt wohl keine Art von Naturprocessen, in welchem zwei auf irgend eine Art verschiedene Körper oder Materien in Wechselwirkung mit einander treten, ohne dafs zugleich das el. Gleichgewicht zwischen ihnen gestört, und dadurch E. in Thätigkeit gesetzt würde. Diese Störung des el. Gleichgewichtes ist nach Verschiedenheit der Umstände und Bedingungen des Processes entweder von der Art, dafs die Elektricitäten mit freier Spannung auftreten, und in relativer Ruhe, jedoch mit dem Bestreben, sich wieder auszugleichen, an der Oberfläche der Körper verweilen, oder dafs sie in einer fortdauernden Strömung, in einer Art von el. Kreislaufe als Folge des Processes selbst, durch welchen das Gleichgewicht gestört worden ist, sich wieder ausgleichen. Die erstere Art von Elektricitätserregung wird durch die Reaction auf das Elektrometer, die letztere am besten vermittelst eines *Galvanometers* durch die Wirkung auf die Magnetnadel erkannt. Im ersteren Falle haben wir es mit den reinen Wirkungen der E., im letztern mit den Wirkungen des Stromes, in welchem die E. mehr unter der Form des Magnetismus auftritt, zu thun. In gewissem Sinne läfst sich behaupten, dafs dem Strome stets eine el. Spannungssetzung vorangehe, oder dafs zur Bewirkung des Stromes mit den Bedingungen, unter welchen von der einen Seite das el. Gleichgewicht gestört wird, sich zugleich die Bedingungen vereinigen, unter welchen nach der andern Seite hin wieder eine Ausgleichung des gestörten Gleichgewichts eintreten kann[1].

---

1 S. *Galvanismus*.

Was nun die Processe selbst betrifft, so lassen sie sich unter gewisse Hauptclassen bringen, nach Verschiedenheit der Kräfte, welche hierbei thätig sind, der Natur der Körper selbst, die auf einander wirken, und der Veränderungen der Körper, die dadurch bewirkt werden. Entweder wirken die Körper im Conflicte mit einander mehr mechanisch auf einander, oder sie wirken chemisch. — Dann findet der Conflict entweder zwischen den ponderabeln Körpern unter einander statt, oder zwischen diesen und den Impoderabilien (Licht, Wärme und Magnetismus), und endlich sind die in den Körpern hervorgebrachten Veränderungen bloſse Veränderungen ihrer physischen Eigenschaften, insbesondere ihrer Cohäsion und ihres Aggregatzustandes, oder es sind damit zugleich Qualitäts- oder Mischungsveränderungen verknüpft.

Was die erste Art der Einwirkung der Körper auf einander betrifft, so wird hierbei vorausgesetzt, daſs die Störung des el. Gleichgewichts der mechanischen Einwirkung selbst propostional sey. Diese mechanische Einwirkung setzt also eine bewegende Kraft voraus, wobei die Gröſse der Bewegung selbst das bestimmende Moment wäre. Indeſs giebt es wohl keinen el. Conflict, bei welchem nicht zugleich die eigenthümliche Qualität der Körper neben der Gröſse der Bewegung, mit welcher sie auf einander einwirken, in Betrachtung käme, welche also nicht aus diesem Gesichtspuncte zugleich eine chemische oder eine chemisch-dynamische wäre, insofern die eigenthümliche Qualität eines jeden Körpers der Ausdruck seines inneren Kräfteverhältnisses ist.

Die erste leiseste mechanische Einwirkung der Körper auf einander, ist die der bloſsen *wechselseitigen Berührung*. Sie allein reicht schon hin zur Störung des el. Gleichgewichts und kann in gewisser Hinsicht als die reichste Quelle der Elektricitätserregung in der Natur betrachtet werden. Von ihr wird unter dem Artikel *Galvanismus* näher gehandelt werden. Die nächste Stufe der mechanischen Einwirkung der Körper auf einander ist *reiner Druck* ohne Reibung. Coulomb hat zuerst auf die E. aufmerksam gemacht, die von einem schnellen Druck abhängt, nach ihm hat Dessaignes die Sache weiter verfolgt, aber mannigfaltige Anomalien und Regellosigkeiten in den Wirkungen des Druckes nach Verschiedenheit der begleitenden Umstände beobachtet; auch Haüy machte gelegentlich eine der-

gleichen Beobachtungen namentlich an kleinen Kalkspathkrystallen, die durch den Druck zwischen den Fingern lange und stark el. werden, besonders aber hat BECQUEREL in neueren Zeiten eine Reihe interessanter Versuche über die Erregung der E. durch Druck bekannt gemacht [1]. Er bediente sich zu seinen Versuchen kleiner Stäbchen von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser, wovon jedes durch etwas Siegellack an einen Glasstab, der selbst an einer hölzernen Handhabe gehalten wurde, befestigt war. Ist bloſs die eine Scheibe isolirt, so bemerkt man die E. auch bloſs an dieser. Auch weichere Körper werden durch Druck el. z. B. Kork, Caoutchouc, frische Pommeranzenschalen, selbst zähe Flüssigkeiten, z. B. Terpentin über dem Feuer eingedickt, wenn es durch eine Korkscheibe gedrückt wurde. Je schneller die Trennung der Scheiben nach dem Druck bewirkt wird, um so stärker fällt die E. aus, gleichsam als bekäme sie durch Langsamkeit Zeit, gröſstentheils wieder ins Gleichgewicht zu kommen. Wenn eine oder beide Scheiben aus Isolatoren bestanden, so erfolgte diese Wiederherstellung langsamer, und innerhalb einer gewissen Zeit zeigten daher solche Scheiben nach einem vorhergegangenen stärkeren Druck stets eine stärkere E., als der Druck, dem sie zuletzt unterworfen waren, für sich allein hervorgebracht hätte. Man konnte also gleichsam den Druck als die Kraft betrachten, welche, so lange er bestand, und nach dem Maſse, in welchem er bestand, die Störung des el. Gleichgewichts unterhielt, und das Streben der beiden getrennten Elektricitäten zur Wiedervereinigung balancirte, welches beim Nachlassen des Druckes dann nur noch einigermaſsen durch den Widerstand, den die isolirende Eigenschaft leistete, beschränkt wurde. Bestanden daher die beiden Scheiben aus vollkommenen Leitern, so zeigten sie eben daher keine Spur von E., weil in dem Augenblicke des Aufhörens des Drucks, der dem Augenblicke der Trennung gleichsam voraus ging, die Bedingung zur Wiedervereinigung beider Elektricitäten und zur Ausgleichung des gestörten Gleichgewichts in der vollkommenen Leitungsfähigkeit beider Körper gegeben war.

Auch in der Erregung der E. durch Druck scheint in Absicht auf die Art von E., die an jedem der beiden Körper auf-

---

1 An. de Chemie et de Physique Tome XXII. p. 1.

tritt, das allgemeine Gesetz zu herrschen, welches oben für die Erregung der E. durch Reibung aufgestellt worden ist, daſs wenn von einer Reihe von Körpern a, b, c u. s. f. a im Conflicte mit b positiv, letzteres negativ, und in dem Conflicte von b mit c, ersteres positiv, letzteres negativ wird, dann auch a mit c positiv ausfällt. So wurden z. B. in jenen Versuchen Becquerel's Kork, Caoutchouc und Orangenschalen, von denen isolirte Scheiben an einander gedrückt wurden, die Orangenschalen mit Caoutchouc —, dieses +, der Kork mit dem Caoutchouc + dieses —, aber auch der Kork mit den Orangenschalen +, diese —, so daſs also von dem positiven Ende ausgegangen, diese drei Körper so auf einander folgen: + Kork, Caoutchouc, Orangenschalen —. Ob übrigens die Körper in Absicht auf die Erregung der E. durch den bloſsen Druck dieselbe Ordnung wie bei der Erregung durch Reibung beobachten, läſst sich aus dem Mangel an einer hinlänglichen Anzahl von Versuchen bis jetzt nicht mit Sicherheit entscheiden, ist indessen nach den bereits vorhandenen sehr zweifelhaft. Die meisten Versuche, die darüber entscheiden können, hat Becquerel mit einer Korkscheibe in Absicht ihres Verhaltens gegen verschiedene andere Körper angestellt. Mit isländischem Doppelspath, Fluſsspath, Gyps, Glimmer, Schwerspath, mit allen thierischen Theilen, wenn sie nicht feucht sind, wird die Korkscheibe negativ, jene werden positiv, dagegen mit Cyanit, Retinasphalt, Steinkohlen, Bernstein, Kupfer, Zink, Silber, den Haaren des Menschen und der Thiere wird eben diese Korkscheibe positiv, jene werden negativ. Hygrometrische Feuchtigkeit verhindert die Elektricitätserregung durch Druck, und jene oben angegebenen Körper, wie Fluſsspath u. s. w. müssen daher vorher gelinde erwärmt werden, um sie von der anhängenden Wasserhaut zu befreien. Auch die Wärme äuſsert einen bedeutenden Einfluſs auf diese Phänomene, und modificirt sie im Wesentlichen auf dieselbe Art, wie bei der Elektricitätserregung durch Reiben. Der Unterschied der Temperatur ist allein hinreichend, zwischen zwei Scheiben, die sonst in allem vollkommen gleichartig sind, und die also eben so wenig durch Druck als durch Reiben Elektricitätserregung zeigen würden, diese zu vermitteln. Zwei ganz gleichartige Scheiben eines vollkommen trokkenen Korks, die man dadurch erhält, daſs man denselben mit einem recht scharfen Messer in der Mitte durchschneidet, zei-

gen auch nach dem stärksten Druck bei der Trennung keine Spur von E.; erhöht man aber die Temperatur der einen an einer Lichtflamme, so tritt sogleich E. auf, und zwar negative an dem wärmeren. Dasselbe gilt auch für zwei Scheiben von Doppelspath, wenn selbst die Verschiedenheit der Temperatur beider nur sehr geringe ist. Erhitzt man eine Scheibe Doppelspath hinlänglich stark; so wird sie zuletzt mit einer Korkscheibe negativ, mit der sie sonst bei Gleichheit der Temperatur oder bei geringem Uebergewichte ihrer Wärme stark positiv wird.

So weit die Versuche gehen, scheint die Stärke der erregten E. mit der Stärke des Drucks zuzunehmen, wovon sich Becquerel durch einen sehr genauen el. Versuck überzeugt hat.

Becquerel leitet das Licht, das in manchen Fällen beim heftigen Stofsen verschiedener Körper entsteht, aus dieser Quelle her. So will man im Eismeere oft ein lebhaftes Licht bemerkt haben, wenn grofse Eismassen an einander stofsen. Sie müssen in diesem Stofse eine starke Zusammendrückung erfahren, welche jede dieser Massen in einen in Beziehung auf die andere entgegengesetzt el. Zustand versetzt. In dem Augenblicke, in welchem der Druck aufhört, verbinden sich die beiden Elektricitäten wieder wegen der relativ grofsen Leitungsfähigkeit des Eises, und diese schnelle Wiedervereinigung wird, wie in allen andern Fällen, wo sich grofse Quantitäten E. schnell ausgleichen, mit Lichtentwickelung verbunden seyn. Diese Erklärung setzt indessen voraus, dafs jene Eismassen von einander selbst in irgend einer Eigenschaft merklich abweichen. Das el. Licht, welches entsteht, wenn Stücke von Zucker, Blende, Quarz, Chalcedon u. d. g. gestofsen oder an einander gerieben werden, rechnet Becquerel gleichfalls zu den el. Pressionsphänomenen. Doch ist diese Erscheinung schon complicirter, da wenigstens stets Reiben zugleich damit verbunden ist, und sich mindestens beim Quarz und Chalcedon ein ganz eigenthümlicher empyrheumatischer Geruch entwickelt. Aber wohl kann man fragen, ob nicht alle *Entzündungen* brennbarer Körper mit chlorsauren oder salpetersauren Salzen, die durch einen schnell vorübergehenden heftigen Druck, durch einen starken Hammerschlag eingeleitet werden, von der dabei statt findenden Elektricitätserregung abhängen, die gleichsam eben so wirkt, wie wenn man einen el. Entladungsschlag durch diese Körper hindurch gehen liefse.

Soferne der Druck in einem bestimmten Verhältnisse ge-

gen die Cohäsion steht, die gleichsam durch ihn verstärkt wird, so reiht sich an diese Art der Elektricitätserregung durch mechanische Einwirkung gleichsam die entgegengesetzte an, wo auf eine eigenthümliche Weise die *Cohäsion aufgehoben wird.* Auch über diese Art der Elektricitätserregung verdanken wir neuerlich Becquerel einige interessante Versuche [1]. Macht man an einem Glimmerblättchen einen kleinen Spalt, befestigt die getrennten Blätter an einer Handhabe, und reifst die Blättchen von einander, so wird die Trennungslinie im Dunkeln leuchten, und jedes Blatt ist entgegengesetzt el. Dies geschieht auch mit andern krystallisirten Mineralien, die auf dieselbe Art behandelt werden können, z. B. Gyps, Kalkspath u. s. w., eben so mit einer auf dieselbe Art behandelten Spielkarte. Dafs dieses Phänomen eine Beziehung auf die Cohäsion habe, und in gewisser Hinsicht das Entgegengesetzte des Vorhergehenden sey, leuchtet ein. Becquerel bemerkt richtig, dafs, da dasselbe Phänomen auch für das dünnste noch trennbare Blättchen gleichmäfsig gelte, man den Schlufs machen könne, dafs auch bei der Trennung der kleinsten Theilchen von einander das gleiche Phänomen sich einstellen müsse. Er vermuthet mit Recht, dafs die Intensität des Phänomens, sich wie der Grad der Cohäsion, die aufzuheben ist, verhalten müsse. Die von Adams [2] bemerkte Erscheinung, dafs wenn man eine Siegellackstange zerbricht, das eine Ende + E., das andere Ende — E. zeigt, möchte auch hierher zu zählen seyn.

Die häufigste Art der Elektricitätserregung durch mechanische Einwirkung der Körper auf einander, ist endlich die durch *Reiben*, die zwar nie ohne Druck statt finden kann, aber doch in ihrer Wirkungsart vom Druck noch wohl unterschieden werden mufs, da das el. Verhalten zwischen zwei Körpern entgegengesetzt ausfällt, je nachdem sie durch Druck oder Reiben auf einander wirken, wie aus einem Versuche von Libes erhellet. Er besteht nämlich darin, eine an einem isolirenden Handgriffe gehaltene Metallscheibe durch hinlänglich starken Druck auf einfachen oder mehrmals zusammengelegten Wachstaffent wirken zu lassen. Dadurch wird der Taffent + das Metall —. Der Effect ist um so gröfser, je stärker der Druck ist, aber er

1 a. a. O.
2 Versuch über die E. S. 3.

hört sogleich auf, sobald der Taffent jene Klebrigkeit verloren hat, die seine Oberfläche leicht zusammendrückbar macht. Führt man dagegen das Metall mit Reibung über den Wachstaffent hin, so wird der Taffent —, das Metall +.

Es gilt übrigens für die Erregung der E. durch Reiben dasjenige, was von der Erregung durch Druck gesagt worden ist, unter einigen besondern Einschränkungen. So werden also vollkommene Leiter an einander gerieben, keine Spur von E. zeigen, wenn sie nicht isolirt sind, weil die erregte E. sich sogleich wieder mit derjenigen des Erdbodens zu 0 ausgleichen kann; dagegen wird der wesentliche Unterschied statt finden, dafs da beim Reiben die Puncte, welche durch ihre Einwirkung auf einander, die gegenseitigen Elektricitäten hervorbrachten, durch den Act des Reibens selbst von einander entfernt werden, die Ausgleichung zwischen zwei isolirten Leitern nicht so erfolgen wird, wie beim Aufhören des Druckes. Uebrigens ist es eine irrige Ansicht, wenn einige Physiker, wie auch Gehler [1], den Grund, warum die E., die beim Reiben der vollkommenen Leiter an einander zum Vorschein kommt, nur so schwach ist, darin suchen, dafs sich dieselbe augenblicklich durch die ganze Substanz derselben vertheile, da bei Nichtleitern ein Theil den andern isolirt, und der erregten E. nicht erlaubt, sich zu verbreiten. Da jede frei auftretende E., wie weiter unten gezeigt werden wird, nicht in die Substanz der Körper eindringt, sondern sich nur an der Oberfläche ausbreitet, so kann, wenn zwei gleiche Flächen eines Leiters und Nichtleiters gerieben werden, und die ganze Ausdehnung des geriebenen Körpers sich blofs auf die geriebenen Flächen einschränkt, der Unterschied der el. Intensität von dieser Verschiedenheit offenbar nicht abhängen, da ja die erzeugten Elektricitäten dann auf gleichen Flächen ausgebreitet sind. Anders ist freilich der Fall, wenn die geriebenen Körper aufser der geriebenen Fläche noch eine anderweitige Ausdehnung haben, wo sich allerdings über der ganzen Fläche des Leiters die erzeugte E. ausbreiten, und in dem Verhältnisse der vergröfserten Oberfläche an Intensität abnehmen wird, während bei dem Nichtleiter die erregte E. an der geriebenen Oberfläche mit ungeschwächter Intensität haftet.

---

1 in seinem physikalischen Wörterbuche.

Um stärkere Grade von E. zu erhalten, reibt man die Nichtleiter am besten durch Reibzeuge, die eigends dazu eingerichtet, durch Federn u. s. w. angedrückt werden [1]. Man erhält in solchen Fällen stets das Maximum von E. an den geriebenen Körpern, wenn das Reibzeug mit dem Erdboden in leitender Verbindung sich befindet.

An diese mechanischen Erregungsarten der E., in welchen eine deutliche Beziehung auf die Cohäsion zu erkennen ist, schliefsen sich am passendsten diejenigen an, welche von einer Aenderung des Aggregatzustandes der Körper abhängen. Eine Art durch Veränderung des Aggregatzustandes der Körper E. zu erregen, ist das Schmelzen. So kann man die E. des Schwefels, Wachses, Siegellacks, der Chocolade hervorrufen. Schwefel in einem irdenen Gefäfse geschmolzen, auf einem Leiter abgekühlt, und dann aus diesem Gefäfse genommen, erscheint stark el. In einem gläsernen Gefäfse geschmolzen und abgekühlt, erhält er starke — E. und das Glas + E., besonders wenn die Abkühlung auf Leitern geschieht, oder das Glas mit Metall belegt gewesen ist. Geschmolzener Schwefel, in metallene Gefäfse aus Zinn oder Kupfer gegossen, zeigt abgekühlt keine E.; nimmt man ihn aber heraus, so hat er + E., das Metall — E.; die E. hört auf, sobald man ihn wieder in das Gefäfs setzt. Chocolade zerlassen und in zinnernen Pfannen abgekühlt, wird stark el., behält auch, wenn man sie herausnimmt, diese Eigenschaft eine Zeitlang. Sie wird von neuem el., wenn man sie wiederum zerläfst und auf Zinn abkühlt, und wenn sie nach einigen Wiederholungen diese Eigenschaft verliert, so kann man ihr dieselbe durch etwas Baumöl wieder geben. Die el. Ladung der Chocolade erreicht, besonders wenn man sie recht heifs in die Blechkapsel bringt, und darin schnell erkalten läfst, oft einen so hohen Grad, dafs die herausgenommenen Tafeln im Dunkeln sichtbare weifse knisternde Funken auf einige Entfernung geben. Auch scheint die bisweilen auf der Oberfläche der Chocolade nach dem Erkalten in den Blechkapseln beobachtete Zeichnung von besonderen, kleinen, geschlängelt-netzförmigen Figuren eine Folge der el. Entladung zu seyn [2]. Diese Beobachtungen, besonders den Schwefel be-

---

1 S. *Elektrisirmaschine.*

2 Vergl. Kastner's Archiv VI. 472., wo sich die hierher gehörige

treffend, sind zuerst von Wilke [1] bekannt gemacht worden, welcher die auf diese Weise erregte E. von der durch Reiben entstandenen durch die Bezeichnung einer E. spontanea unterscheidet. Indeſs hängt die in diesen Fällen erzeugte E. nicht vom Schmelzen an sich, oder von der Veränderung des Aggregatzustandes, als nächster oder unmittelbarer Ursache, sondern ohne Zweifel vom Reiben ab, das unter besonders günstigen Umständen in diesen Fällen eintreten kann. Die Holländischen Physiker van Marum und Paets van Troostwyk [2] haben durch Versuche gefunden, daſs geschmolzene Massen, wie Gummilack, Harz, Pech, so lange sie ruhig in den Gefäſsen stehen, nicht die mindeste Spur von E. zeigen, und daſs isolirte Metallplatten, die man in diesem Zustande auf sie hält, unter vorsichtiger Vermeidung aller Reibung, und dann wieder nach dem Erkalten davon trennt, so wenig als die geschmolzenen Massen selbst die mindeste Spur von E. zeigen. Erst das Ausschütten, oder vielmehr das Auseinanderflieſsen des Geschmolzenen bringt die E. hervor, die also in diesem Falle nicht ohne Reibung auftritt. Dies findet noch weit mehr in den oben angeführten Versuchen statt, denn ein geschmolzener Körper kann nicht ohne Reiben erhärten oder vom Gefäſse getrennt werden, auch geschieht hier das Reiben unter sehr vortheilhaften Umständen, nämlich bei genauer Berührung und höchster Trockenheit. Endlich sind die Elektricitäten an die beiden Körper gerade so ausgetheilt, wie sie auch beim wirklichen Reiben derselben an einander zu Vorschein kommen.

Dagegen scheint diese Zurückführung der Elektricitätserregung auf dabei statt findendes Reiben als Quelle derselben keine Anwendung auf die Erklärung der el. Erscheinungen, welche

---

Literatur findet. Für die in der dortigen Anmerkung aufgestellte Behauptung des Herausgebers, daſs Schwefel in *silbernen* Gefäſsen geschmolzen während der Schmelzung und des Geflossenseyns *negativ* el., das Silber hingegen stark *positiv* sey, beim Erkalten aber die E. sich umkehren, hätte ich die Nachweisung einer glaubhaften Autorität gewünscht. Ich bezweifle aus mehr als einem Grunde, daſs der Schwefel, so lange er geflossen ist, merkliche E. zeigt, wenigstens haben mir die empfindlichsten Elektrometer keine Spur davon gezeigt.

1 S. Disputatio physica experimentalis de electricitatibus. Rostochii 1757.

2 J. d. P. 1788. Oct. p. 248.

das Wasser bei Veränderung seines Aggregatzustandes zeigt, zuzulassen, worüber vorzüglich TH. VON GROTTHUSS[1] Versuche angestellt hat. Wasser, das in einem, wie eine Leidner Flasche von aufsen belegten, Glase in einer sehr niedrigen Temperatur (— 24° R.) schnell gefror, wurde positiv, in hoher Temperatur schnell geschmolzen, zeigte es negative E. Da Eis mit Glas gerieben — E. giebt, so konnte die E. nicht von einer Art von Reibung des werdenden Eises am Glase hergeleitet werden, auch gab dieser Versuch in einem blechernen Gefäfse dasselbe Resultat. Ob hierbei nicht vielmehr ein starker Druck, den das zu Eis werdende Wasser nach allen Seiten, und so auch auf das Glas ausübte, diese Elektricitätserregung verursachte? Sahen wir ja auch in einem oben angeführten Versuche bei zwei Körpern durch Druck gerade die entgegengesetzte E. von derjenigen durch Reiben erregt.

Dafs Wasser beim Verdampfen aus Gefäfsen diese negativ zurückläfst, ist schon eine alte Erfahrung[2]. GROTTHUSS erhielt dieses Resultat, die Verdampfung mochte in Gefäfsen von Eisen, Kupfer oder chemisch reinem Silber geschehen. Wasser auf an der Luft zerfallenes Glaubersalz oder gebrannten Alaun getröpfelt zeigte negative E., also beim Festwerden in diesem Falle die entgegengesetzte von derjenigen beim Eiswerden. Dafs nicht Verdampfung, welche sonst das Wasser negativ zurückläfst, die Ursache seyn konnte, bewies der Umstand, dafs auch der gebrannte Kalk, noch ehe Erhitzung eintrat, diese E. entwickelte, wenn Wasser darauf getröpfelt wurde.

Unter die Kategorie der von der Aenderung des Aggregatzustandes abhängigen Elektricitätserregung gehören vielleicht auch die meisten Lichterscheinungen, welche so oft bei der Krystallisation der Salze beobachtet worden sind. Das Licht zeigt sich gewöhnlich in lebhaften Funken, die bald von diesem, bald von jenem Puncte der Krystalle ausgehen. Die Erscheinung dauert oft mehrere Stunden, so wie die Krystallisation fortschreitet, die Flüssigkeit, aus welcher sich die Krystalle bilden mehr und mehr verdunstet, aber sonderbar ist es, dafs dieselbe Masse von Krystallen, welche die auffallendste Lichterscheinung

1 Schweigg. J. IX. 221.
2 S. *Condensator*.

gaben, frisch wieder aufgelöst, und einer neuen Krystallisation ganz unter denselben Umständen unterworfen, diese Lichterscheinung zum zweitenmale dann nicht wieder zeigen. Von dem schwefelsauern Kali, bei dessen Krystallisation diese auffallende Lichterscheinung am häufigsten beobachtet wurde, führen schon ältere Chemiker dies an, und Giobert sieht es als eine nothwendige Bedingung zur Lichtentwickelung an, daſs die Lauge vorher dem Lichte und der Luft ausgesetzt war; dasselbe bemerkte ich bei einer Auflösung von salpetersaurem Strontian, die vorher längere Zeit dem Lichte und der Luft ausgesetzt die auffallendsten Lichtfunken beim Krystallisiren zeigte, nicht aber von neuem, als die Krystalle wieder aufgelöst und sogleich zur neuen Krystallisation gebracht wurden[1]. Eine gleiche Erfahrung machte Berzelius bei der Krystallisation einer gesättigten Auflösung von fluſssaurem Natron[2], dasselbe bemerkte auch Wöhler an einer Auflösung von schwefelsaurem Kali[3]. Man könnte daher gegen die wirkliche el. Natur dieses Phänomens noch einige Zweifel hegen, und dasselbe als ein phosphorisches im engern Sinne betrachten, wenn nicht andere Erwägungen, die aus der elektrochemischen Theorie herzunehmen sind, für die el. Natur desselben sprächen[4]. Ohne Zweifel gehört auch hierher das glänzende Lichtphänomen, welches Buchner bei der Sublimation der Benzoësäure beobachtete, wo die feinen Krystalle, die sich aus dem Dampfe ausschieden, wie die glänzendsten Lichtfunken erschienen. Krystallisirte Salze zeigen auch unmittelbar nach ihrer Krystallisation ihre E. am Elektrometer. Doch fand Grotthuss in Absicht auf die Beschaffenheit der E. nichts Constantes, da Alaun, Salmiak und Salpeter bald positiv, bald negativ erschienen.

Wenn jede Veränderung des Aggregatzustandes wesentlich von einem veränderten Verhältnisse gegen die Wärme abhängt, so folgt hieraus eine nahe Verwandtschaft der Elektricitätserregung durch eine solche Veränderung mit derjenigen durch auf-

---

1 Schweigg. J. XIV. 275.

2 Jahresberichte von Berz. IV. Jahresbericht S. 45.

3 Ebendas.

4 Vergl. vorzüglich einen interessanten Aufsatz: von dem Herausgeber: Ueber Lichterscheinung bei der Krystallisation in Schweigg. Journ. N. R. XI. 221. auch IX. 231 und X. 271.

fallenden Wechsel der Temperatur, ohne dafs dadurch der Aggregatzustand selbst verändert würde. Ich meine hier das Hervorrufen einer el. Polarität an vielen krystallisirten Mineralien, welches in so vielen Fällen sich zeigt, dafs mehrere Physiker diese Classe von Erscheinungen mit einem eigenen Namen der *Pyro-* oder *Thermo-Elektricität* zu bezeichnen angefangen haben[1].

Von Elektricitätserregung durch blofse *Lichtbestrahlung* fehlt es an einer Erfahrung, und immer würde eine solche es zweifelhaft lassen, ob nicht vielmehr die Wärme das thätige Princip dabei gewesen sey.

Wenn man erwägt, dafs die neuere Theorie der Chemie alle Wirkungen der Verwandtschaft auf das Spiel el. Kräfte zurückzuführen bemüht ist, so sollte man glauben, dafs die chemischen Processe durch die Elektricitätserregung vorzüglich vermittelt werden. Dieser Ansicht huldigen viele Physiker, und wir werden unter dem Artikel *Galvanimus* Gelegenheit haben, dieselbe näher zu prüfen. Hier möge nur im Allgemeinen bemerkt werden, dafs keine einzige sichere Thatsache vorhanden ist, durch welche der Beweis geführt werden könnte, dafs durch den chemischen Procefs als solchen das el. Gleichgewicht gestört, und die vorher ruhenden Elektricitäten entweder in eine freie Spannung versetzt oder zum el. (galvanischen) Kreislauf in einer geschlossenen Kette aufgeregt würden. Der französische Physiker Becquerel glaubte zwar, durch sehr unzweideutige Versuche diese Elektricitätserregung als Folge chemischer Wechselwirkung bewiesen zu haben. Er bediente sich dazu eines elektromagnetischen Multiplicators, der so zugerichtet war, dafs das eine Ende des mehrmals umschlungenen Metalldrahts in eine angelöthete, etwas geräumige, Vertiefung, oder einer Art Schälchen von Platin, das andere in eine Zange von demselben Metalle ausging. Gofs nun Becquerel eine Säure in die Vertiefung, und wurde ein Stück kaustisches Alkali oder irgend eine andere basische Substanz mit der Zange gefafst und in die Säure gebracht, so zeigte die Abweichung der Magnetnadel, welche sich im Wirkungskreise des Multiplicators befand, die Entstehung eines el. Stromes an. Von der Säure ging *positive,* von dem Alkali *negative* E. aus, und der el. Strom

1 S. *Krystallelektricität.*

war um so kräftiger, je gröfser die Verwandtschaft zwischen den Körpern war, die sich verbanden. Um die Verbindung langsamer zu bewerkstelligen kann der eine der hierzu anzuwendenden Körper in eine nasse Blase eingeschlossen werden. Metalloxyde wirkten gegen Alkalien wie Säuren; dasselbe thaten Erden und Metallsalze. Durch doppelte Zersetzungen, wo die Basen und Säuren gesättigt blieben, erhielt Becquerel kein Zeichen von el. Strömung, ausgenommen wenn Eisenvitriol durch blausaures Eisenkali gefällt wurde, wobei ersterer nach Art einer Säure wirkte[1]. Selbst bei Auflösung von trockenen Säuren in Wasser, ja beim Zusammenkommen von concentrirten flüssigen, wie der Salpetersäure oder Schwefelsäure mit Wasser, zeigte sich jene el. Wirkung. Nur wurde bei Anwendung der flüssigen Säuren, weil sie nicht unmittelbar von der Platinzange gehalten werden konnten, Platinschwamm damit getränkt, der von der Platinzange gefafst nunmehr in das destillirte Wasser des Platinlöffelchens getaucht wurde. Die Richtung des el. Stromes war hierbei eben dieselbe, als wenn das Wasser eine Base wäre, und umgekehrt, wenn kaustisches Alkali in Wasser aufgelöst wurde, so gab der el. Strom zu erkennen, dafs das Wasser wie eine Säure wirkte. Nur die Salzsäure machte eine Ausnahme, indem sie sich gegen das Wasser el. positiv verhielt, worin sich diese Säure andern durch Wasser verdünnten Säuren gleich verhielt, die, wie ich schon früher von der Schwefelsäure gezeigt habe[2], ihren el. Werth durch die Verdünnung mit Wasser umkehren, was auch mit Seebeck's Versuchen über die thermomagnetische Reihe der Körper übereinstimmt. Bei der Auflösung von Salzen in Wasser fand Becquerel wenig oder keine el. Wirkung, nur bei der Auflösung von schwefelsausem Natron und salzsaurem Baryt wurde eine geringe Spur davon bemerkt, wobei sich das Wasser gleich einer Säure verhielt. Becquerel untersuchte ferner die el. Phänomene, welche bei der Vereinigung zweier Säuren entstehen, er erhielt aber nur veränderliche und anomale Wirkungen.

Da die Capillarität auf der Anziehung der kleinsten Theilchen einer Flüssigkeit gegen die Materie des Haarröhrchens beruht, die gleichsam die erste Stufe der Anziehung ist, so

1 Schweigg. J. N. R. IX. 385.

2 Gehlen's Journ. d. Ch. und Ph. V. 82.

schienen die Versuche über die Elektricitätserregung durch Capillarität durch ihre Resultate, jene über die Elektricitätserregung durch eigentliche chemische Action noch weiter zu bestätigen. Um diese Wirkung darzustellen, bediente Becquerel sich eben so des aus dem Platinsalmiak bereiteten Platinschwammes, wie in den oben angeführten Versuchen, faſste die poröse Masse an dem einen Ende mit der Zange des Multiplicators und tauchte sie in die im Platinlöffel am andern Ende des Multiplicators enthaltene Salpetersäure. Dabei entstand, so lange der Platinschwamm die Säure einsog, ein el. Strom in entgegengesetzter Richtung, als es hätte der Fall seyn sollen, wenn die Säure das Metall angegriffen hätte, und sobald die Poren mit Säure gefüllt waren, hörte alle Wirkung auf. Wasser statt der Säure, that keine Wirkung, weil, wie Becquerel meint, es ein zu schlechter Leiter der E. ist, aber auch concentrirte Salpetersäure, wenn gleich ein besserer Leiter als verdünnte, brachte eine schwächere Wirkung wie diese hervor [1].

Alle diese Versuche beweisen aber meines Dafürhaltens durchaus nicht, was Becquerel dadurch bewiesen zu haben glaubt, da sich alles sehr gut aus den Gesetzen der Contact-E. erklären läſst, und kein Grund vorhanden ist die chemische Action als solche als die Quelle der el. Strömung anzusehen. In allen obigen Versuchen wirkte nämlich eine einfache galvanische Kette aus zwei Leitern der zweiten Classe (feuchten Leitern) und einem Leiter der ersten Classe, dem Platin, das an beiden Enden des Multiplicators angebracht war, und wovon das eine, den einen, das andere den andern feuchten Leiter berührte, und die Stärke und Richtung des el. Stromes war dann jedesmal das Resultat der combinirten Zusammen- und Entgegenwirkung der Störung des el. Gleichgewichts in den drei Berührungspuncten, zwischen dem Platin (der Zange oder dem Schwamme) und dem einen feuchten Leiter, dem Platin (dem Löffelchen) und dem andern feuchten Leiter und den beiden feuchten Leitern unter einander selbst. Diese Kettenwirkung muſste so lange fortdauern, als noch in irgend einem Theile des Raumes die wechselseitige chemische Verbindung zwischen den beiden feuchten Leitern nicht erfolgt war, d. h. so lange noch die feuchten Leiter in ihrer Heterogeneität in einer endlichen

1 Schweigg. Journ. N. R. X. 408.

Menge neben einander existirten, folglich in Berührung mit einander waren und schon vermöge dieser allein das el. Gleichgewicht stören mulsten. Dasselbe hat auch BERZELIUS bemerkt wenn er[1] nach summarischer Anführung obiger Versuche hinzufügt. Er müsse bemerken, dafs diese Versuche von ganz gleicher Natur mit denen seyen, die mittelst Säulen von einem Metall und zwei Flüssigkeiten gemacht werden, zu deren Beweiskraft sie nichts zulegen können[2].

Was die Elektricitätserregung durch *Capillarität* betrifft, so scheint auch hier alles sich auf die Wirkung einer galvanischen Kette aus zwei Metallen und einer Flüssigkeit zurückführen zu lassen, indem es aus andern galvanischen Versuchen bekannt ist, dafs die Verschiedenheit eines und desselben Metalls an Politur, Glanz, Wärme u. s. w. schon hinreicht, zwei solche Stücken oder Enden gleichsam zu Aequivalenten von zwei heterogenen Metallen zu machen, und die Verschiedenheit zwischen einem polirten Stücke Platin und dem Platin in Form des Schwammes die gröfstmöglichste ist, die in dieser Hinsicht statt finden kann.

IV. Mittheilung der E. Austheilung derselben an die Leiter. Gesetze für die Capacität isolirter Leiter. COULOMB's Untersuchungen. Wirkungen der mitgetheilten E. auf Thiere, Pflanzen, verdunstende Materien und Gasarten.

Ein elektrisirter Körper theilt seine E. andern ihn berührenden mit, und verliert dadurch soviel, als er mitgetheilt hat. Ist er ein Leiter, so vertheilt sich dieser Verlust über den ganzen Körper, und alle seine Theile zeigen die el. Erscheinungen schwächer; ist er aber ein Nichtleiter, so trifft der Verlust nur die berührte Stelle, weil die nicht leitende Eigenschaft dem Streben nach Ausgleichung Widerstand leistet. So benimmt man einer geriebenen Glasröhre durch Berühren mit dem Finger ihre E. nur an dieser Stelle, um sie ganz zu entziehen, mufs man sie mehrmals und an vielen Stellen berühren. Einem Metall-

1 IV. Jahresbericht S. 25.

2 Vergl. *Galvanismus*.

stabe aber entzieht die Berührung eines mit der Erde verbundenen Leiters alle seine E. auf einmal.

Wieviel ein Körper durch die Berührung anderer verliert, das kommt darauf an, ob die andern wenig oder viel annehmen. Hier kommt also die Lehre von der Capacität der Körper für E., die bereits in dem Artikel *Condensator* berührt worden ist, aus einem neuen Gesichtspuncte in Betrachtung, und gerade hierüber haben wir die allergenauesten, in mathematischen Formeln darstellbaren Bestimmungen vorzüglich den scharfsinnigen mikroelektrometrischen Untersuchungen des berühmten französischen Physikers Coulomb zu verdanken. Der Fundamentalsatz für alle diese Bestimmungen ist, daſs die freie, mit Spannung begabte d. h. durch repulsive Kraft nach allen Seiten wirksame E., sie sey nun positive oder negative, sich lediglich nur auf der Oberfläche der Körper verbreite und anhäufe, und nicht in das Innere der Substanz derselben eindringe, daſs also die Masse der Körper als Masse, und wenn von der verschiedenen Schnelligkeit der Verbreitung abgesehen wird, auch die Qualität derselben hierbei gar nicht in Betrachtung komme, sondern daſs sich alles nur auf die Oberfläche der Körper, jedoch nicht bloſs der *Quantität*, sondern auch der *Qualität* ihrer Ausdehnung, d. h. ihrer Gröſse sowohl als Gestalt nach beziehe, und dadurch bestimmt werde. Zum strengen Erweise dieses Hauptgesetzes durch Versuche, und zur empirischen Bestätigung der theoretischen Gründe, die auf dasselbe Resultat führen, war es vor allen Dingen nöthig, ein genaues Maſs für die E. ausfindig zu machen, das noch die kleinsten Grade von E. in bestimmten Zahlwerthen anzugeben geeignet war. Wir verdanken ein solches dem Scharfsinne Coulomb's in der el. Waage[1], wo die Drehkraft eines feinen Silberfadens, oder der Widerstand, welchen derselbe der Drehung leistet, zum Maſse für die el. Repulsivkraft dient, nachdem durch anderweitige Versuche dieses Maſs selbst durch genaue Bestimmung aller Momente, welche auf die Gröſse dieses Widerstandes ihren Einfluſs äuſsern, erst gewonnen ward[2].

Wenn die freie E. auf einer gegebenen Oberfläche, z. B. einer Kugel, an jedem Puncte derselben durch jenes Maſs ge-

---

1 S. *Waage, elektrische.* Vergl. *Drehwaage.*

2 Vergl. *Elasticität gegen Drehung.*

prüft die gleiche Repulsivkraft zeigt, so folgt daraus, dafs die E. auf dieser Oberfläche ganz gleichförmig vertheilt ist. Dafs nun Coulomb's Drehwaage durch die Drehkraft als Mafs der Repulsivkraft unmittelbar die wirkliche Menge der freien E. an jedem Elemente der Oberfläche messe, beweiset ohne Widerrede der Versuch mit zwei Leitern von ganz gleicher Beschaffenheit in Rücksicht auf Gröfse und Gestalt, z. B. zwei Cylindern, oder zwei Parallelepipedis, von denen einem zuerst E. mitgetheilt, die Stärke derselben durch die Drehwaage bestimmt, und dann der andere Leiter ganz symmetrisch an den andern in parallele Lage und in leitende Verbindung mit ihm gebracht wird, wo, wegen des ganz gleichen Verhältnisses beider Leiter in Beziehung auf einander, die E. sich unter beide nothwendig zu gleichen Hälften vertheilt, die Drehwaage dann aber auch die Hälfte der Repulsivkraft an jedem Leiter anzeigt. Es folgt hieraus eben so nothwendig, dafs wenn die freie E. nur an der Oberfläche haftet, eine Kugel von doppelter Oberfläche, bei gleicher Repulsivkraft an jedem Puncte, das doppelte Quantum von E., und so überhaupt Kugeln bei gleicher Spannung der E. Quantitäten im Verhältnisse ihrer Oberfläche besitzen werden, da für jedes gegebene Element die Menge der E. bei gleicher Repulsivkraft dieselbe seyn mufs, wie der obige Versuch beweiset. Die gleichförmige Verbreitung der E. auf Kugeln, die von allen Seiten gleichmäfsig mit Luft oder irgend einem andern ganz homogenen Nichtleiter umgeben sind, folgt schon aus dem Wesen einer Kugel, weil jeder Punct ihrer Oberfläche in Beziehung auf alle übrigen Puncte ganz dieselbe Lage hat, wie jeder andere, und also jeder ganz denselben Einflüssen der Repulsion von allen übrigen Puncten her unterworfen ist. Dafs nun die freie, mit Spannung begabte, und in dieser Spannung relativ ruhende E. wirklich nur an der Oberfläche hafte und nicht in dem Innern der Körper mit verbreitet sey, folgt schon mit Nothwendigkeit aus dem Begriffe einer nach allen Seiten thätigen Repulsivkraft, ihre Intensität mag nun nach den einfachen oder quadratischen Verhältnissen der Entfernung abnehmen, wenn zwischen den Theilchen, die durch diese Repulsivkraft sollicitirt werden, und den materiellen Theilchen des Körpers, an welchen die E. auftritt, keine weitere Beziehung, weder von Anziehung noch von Repulsion statt findet. Directe Versuche mancherlei Art beweisen aber auch den Satz unmit-

telbar. Man nehme z. B. einen leitenden Körper von sphäroidischer Form wie S, man verfertige sich zwei sehr dünne Kappen E E gleichfalls von einer leitenden Substanz, wie von Goldpapier, und gebe ihnen eine solche Krümmung, daſs, wenn sie an einander stoſsen, sie den Körper S genau einschlieſsen und umhüllen; man befestige an diese Kappen nach Auſsen zwei passende Handhaben von Schellack M, M, so daſs man sie gut anfassen kann, ohne ihnen ihre E. zu entziehen. Man isolire den Körper S durch einen gläsernen Fuſs oder hänge ihn an einem wohl mit Schellack überzogenen seidenen Faden auf, und theile ihm irgend einen Grad von E. z. B. durch Funken aus dem ersten Leiter der Elektrisirmaschine mit. Nunmehr applicire man mit Hülfe der isolirenden Handhaben jene oben beschriebenen Kappen gehörig an den Körper S, um ihn ganz zu umhüllen; ziehe sie sogleich wieder mit derselben Vorsicht davon ab, und prüfe sie durch ein Elektrometer. Man wird finden, daſs sie dem sphäroidischen Körper alle seine E. geraubt haben, der auf dieselbe Weise untersucht keine Spur davon zeigen wird. Man erhält dasselbe Resultat durch eine andere Art von Versuchen, die den Satz auf eine allgemeinere Art beweisen. Man bohre in einen Leiter von beliebiger Gestalt ein oder mehrere cylindrische Löcher von beliebiger Tiefe und von 4—5 Linien Durchmesser, verfertige sich einen Faden von Schellack, von einigen Zollen Länge, und befestige an das Ende desselben eine Scheibe von Goldpapier, oder ein Kügelchen von Hollundermark, von einem Durchmesser, der etwa $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ der Weite jener Löcher beträgt. Dann isolire man den mit jenen Löchern versehenen Leiter, elektrisire ihn hinlänglich stark durch einen Funken aus dem ersten Leiter der Elektrisirmaschine, und führe mit aller Vorsicht, indem man den Faden von Schellack an seinem freien Ende hält, das eine Ende mit der Goldscheibe oder dem Hollundermarkkügelchen in eines jener Löcher, wobei man sich aber wohl in Acht zu nehmen hat, daſs die Ränder der oberen Oeffnung desselben nicht berührt werden. Auch wenn der Boden des Loches oder die innern Wandungen berührt worden sind, wird doch die Goldscheibe oder das Hollundermarkkügelchen keine Spur von E. zeigen, wie die Prüfung an einem hinlänglich empfindlichen Elektroskope beweiset. Hieraus ergiebt sich unwidersprechlich, daſs die freie, aber nicht in wirklicher Strömung begriffene, sondern nur

Fig. 29.

mit einem gegebenen Grade von Spannung nach Aufsen strebende E. blofs an der Oberfläche der Körper haftet. Denkt man sich nun die Ursache der el. Erscheinungen als ein sehr feines ätherisches Fluidum, eine Vorstellungsart, mit welcher alle Phänomene am besten zusammenstimmen, so mufs man sich dasselbe an den Leitern unter der Gestalt einer höchst dünnen Schicht vorstellen, deren äufsere Oberfläche mit der Luft in Berührung ist, wo sie durch den Druck und die isolirende Eigenschaft derselben zurückgehalten wird, und ganz mit der Oberfläche des Leiters selbst zusammentrifft, deren Dicke aber, wie dünn sie übrigens an sich seyn mag, sich nach der Menge der Theilchen, welche an jedem Elemente der Oberfläche des Leiters angehäuft sind, richten mufs. Dafs die Qualität der Körper bei der Vertheilung der freien E. über ihre Oberfläche nicht den geringsten Einflufs auf die Menge derselben hat, und nur insofern in Betrachtung kommen kann, als die in verschiedenen Graden isolirende Eigenschaft der Körper der Verbreitung der E. auf der Oberfläche mehr oder weniger Widerstand leistet, hat Coulomb durch einen entscheidenden Versuch bewiesen. Er theilte der kupfernen Kugel seiner Drehwaage einen bestimmten Grad von E. mit, welcher durch die Drehungswinkel der zurückgestofsenen Scheibe ven Goldpapier gemessen werden konnte, berührte die kupferne Kugel schnell mit einer andern von Hollundermark von gleichem Durchmesser, und entfernte diese sogleich, dann zeigte sich die Repulsivkraft, welche die kupferne Kugel ausübte, nur noch als die Hälfte der vorhergehenden, woraus folgt, dafs da die Repulsivkraft bei derselben Oberfläche im Verhältnisse der Quantität des el. Fluidums steht, die kupferne Kugel gerade die Hälfte desselben an die Kugel von Hollundermark abgegeben haben mufste, und folglich die verschiedene Qualität beider Körper nicht den geringsten Einflufs auf die Vertheilung geäufsert hatte. Auch andere Versuche gaben durchaus dasselbe Resultat, wenigstens für alle diejenigen Körper, welche in ihrem Leitungsvermögen wenig von einander abweichen, und also namentlich für die Metalle. Um so auffallender mufs ein Versuch Parrot's in Dorpat erscheinen, der bei ganz gleicher Oberfläche und Gestalt eine sehr verschiedene Capacität verschiedener Leiter, nach Verschiedenheit ihrer besondern Qualität beweisen würde. Man

nehme, sagt PARROT[1] zwei Metallplatten, jede mit einem isolirenden Handgriffe, beide gleich grofs und gleich geschliffen, aber die eine von Kupfer, die andere von Zink, und stelle jede auf ein besonderes isolirendes Gestell. Dann lege man an sie einen gemeinschaftlichen Leiter in Gestalt eines >, der mit seiner Spitze auf einem dritten Isolator ruhe, und berühre diese Spitze mit dem Knopfe einer sehr schwach geladenen Kleist'schen Flasche, fasse jede der Platten am isolirenden Handgriffe, und berühre damit ein Goldblattelektrometer; so wird dieses jederzeit mehr Divergenz zeigen durch die kupferne Platte als durch die von Zink, und in einer Anmerkung fügt der Verfasser hinzu, dafs sich aus 34 Versuchen als Mittelzahlen die Divergenzen am Elektrometer 59° für das Kupfer, und 14° für das Zink ergaben, woraus er die, wie er bemerkt, wichtige Folgerung zieht, dafs wenn man die Leidner Flaschen mit Kupfer belegte, sie eine weit gröfsere Menge von E. aufnehmen würden, da Zinn und Zink in obiger Hinsicht nicht weit aus einander stehen. Wiederholte PARROT den Versuch so, dafs man jede Platte unmittelbar an die Flasche und dann an das Elektrometer brachte, so war die Mittelzahl der Divergenz 20°,8 für das Kupfer, 9°,6 für das Zink. Es ist schwer abzusehen, worin die Ursache dieser sonderbaren Anomalie von allen el. Gesetzen gelegen haben mag. Bei Wiederholung dieser Versuche bei gleich grofsen und gleich dicken, wohl polirten, kreisförmigen Zink- und Kupfer-Platten von verschiedenem Durchmesser habe ich durchaus keine solche verschiedene Spannung durchs Goldblattelektrometer bemerken können, und es ist selbst, wenn man den verschiedenen Metallen eine verschiedene Capacität für die E. in dem Sinne der verschiedenen Capacität der Körper für Wärme zuschreiben wollte, doch jenes oben erwähnte, von PARROT erhaltene, Resultat unbegreiflich, da nach jener Analogie zwar unstreitig verschiedene Quantitäten von E. erforderlich seyn würden, um in verschiedenen Metallen, von übrigens gleicher Form und Gröfse dieselbe el. Spannung, die durch das Elektrometer gemessen wird, hervorzubringen, diese Spannung selbst aber, nach dem Gesetze des Gleichgewichts in ihnen, da sie aus demselben Quell schöpfen, und sich mit diesem ins Gleichgewicht setzen, dieselbe seyn müfste, gerade so, wie verschie-

1 Grundrifs der theoretischen Physik II. 517. §. 1266.

dene Körper, ohngeachtet ihrer verschiedenen Capacität für Wärme die gleiche Temperatur mit dem Medium annehmen, das für sie die Quelle der Erwärmung ist.

Wenn nun nach Uebereinstimmung aller Versuche (bis auf obige Ausnahme) die verschiedene Qualität der Körper keinen Einfluſs auf die Capacität derselben für E. äuſsert, so übt ihre verschiedene Gestalt einen um so gröſseren aus, wovon der Grund in der verschiedenen Wechselwirkung der auf der Oberfläche verbreiteten E. auf sich selbst durch die Repulsivkraft ihrer Theilchen, die von dieser Gestalt wesentlich mit abhängt, liegt. Schon Volta[1] hat eine Reihe interessanter Versuche hierüber angestellt. Er fand im Allgemeinen, daſs die Länge eines Leiters seine Capacität für E. in einem viel höheren Grade vermehrt, als die Zunahme seines Durchmessers. Von drei Cylindern, wovon der eine einen Fuſs Länge 4″ Durchmesser, der zweite zwei Fuſs Länge und 2″, und der dritte acht Fuſs Länge und ½″ Durchmesser, und demnach sämmtlich einen Quadratfuſs Oberfläche hatten, wobei die halbkugelförmigen Flächen der Enden nicht in Anschlag gebracht sind, so daſs also die Oberfläche des dicksten Cylinders noch etwas gröſser war, hatte Letzterer bei weitem die gröſste Capacität. Dies ergab sich daraus, daſs wenn alle drei so lange geladen wurden, bis sie von selbst Funken ausströmten, der dritte die erschütterndsten Funken gab, daſs ferner, um den dritten zu gleicher Spannung, wie die beiden andern zu laden, mehr Umdrehungen der Elektrisirmaschine nöthig waren, auch eine an ihn sich entladende Leidner Flasche vergleichungsweise mit den beiden andern, den längsten Funken gab. Man würde demnach mit einer weiter gehenden Verlängerung bei gleichbleibender Oberfläche die Capacität fortschreitend vermehren können, wenn nicht eine gewisse Dünne wieder Grenzen setzte, bei welcher die E. sich zu leicht zerstreuet, besonders wenn der metallische Draht, den man als Leiter gebraucht, ungleiche Stellen hat. Eine Dicke von 6 Linien ist indessen noch sehr brauchbar. Noch genauere Versuche hat indessen Coulomb durch Hülfe seiner el. Waage hierüber angestellt, die auf dasselbe Resultat führen. Es werden nämlich bei der Mittheilung der E. von einem Leiter

1 Dessen Schriften über E. und Galvanismus übers. von Dr. C. F. Nasse I. Band 1803. S. 1. ff.

an einen andern isolirten Leiter die Quantitäten von E., die der eine zurückbehält und der andere empfängt, durch die Bedingungen des Gleichgewichts bestimmt, welches im Augenblicke der Berührung zwischen den Repulsivkräften der el. Flüssigkeiten, die sich zwischen den beiden Oberflächen vertheilt haben, eintreten mufs. Vertheilt sich z. B. die Flüssigkeit unter Kugeln von ungleicher Oberfläche, so weichen die Quantitäten in einem geringeren Verhältnisse von einander ab, als die Oberflächen, oder die kleinere Kugel bekommt immer mehr, als nach Verhältnifs ihrer Oberfläche. Das Gleichgewicht erfordert nämlich, dafs das Verhältnifs zwischen der Quantität der kleineren und der gröfseren dasjenige, welches zwischen den Oberflächen statt findet, hinlänglich übersteige, damit sein Uebergewicht dasjenige ersetze, was die kleinere Kugel im Verhältnifs ihrer weniger ausgedehnten Oberfläche verliert. Betrug die Oberfläche der kleinern Kugel ungefähr $\frac{}{15}$ der gröfseren, so war ihre Quantität ungefähr $\frac{1}{11}$ von dem Fluidum der Andern. Da die el. Dichtigkeiten an jedem Puncte bei Kugeln, auf welchen die E. wegen gleichförmiger Lage aller Puncte gegen einander gleichförmig vertheilt ist, die Quotienten der Quantitäten des el. Fluidums dividirt durch die Oberflächen sind, so war es Coulomb leicht, durch directe Versuche das Gesetz zu finden, nach welchem die el. Dichtigkeiten der Körper, unter welche sich die E. vertheilt hatte, variiren. Coulomb fand so, dafs für zwei Kugeln, wovon die eine dieselbe bleibt, während man die andere immer kleiner und kleiner nimmt, das Verhältnifs der el. Dichtigkeiten nach einer immer langsameren Progression wächst, welche das Verhältnifs von 2 : 1 zur Grenze hat, so dafs im Falle dieser Grenze die zweite Kugel unendlich klein angenommen werden mufs, und nur an dieser Grenze die kleinere Kugel noch einmal soviel E. aufnimmt, als sie nach dem Verhältnisse ihrer Oberfläche aufnehmen sollte.

Bei isolirten cylindrischen Leitern, welche mit Kugeln in Berührung kommen, gilt im Allgemeinen das Gesetz, dafs bei gleicher Oberfläche der cylindrische Leiter verhältnifsmäfsig um so mehr aufnimmt, je länger er ist, dafs aber auch der Ort, an welchem die beiden Leiter sich bei der Mittheilung berühren, seinen Einflufs äufsert, indem der cylindrische Leiter am meisten aufnehmen wird, wenn die Mittheilung an einem seiner Endpuncte geschieht, und in dem Verhältnisse weniger, in

welchem die Berührung der Mitte des Cylinders näher rückt.

Die stärkeren Grade der E. verbreiten sich an den guten Leitern von beträchtlicher Länge mit einer bewunderungswürdigen Geschwindigkeit. Man hat über diese Geschwindigkeit vorzüglich durch Hülfe der Entladung von Leidner Flaschen und Batterien Versuche angestellt, und für die bisher untersuchten Entfernungen, wovon die gröſste 12276 Schuhe war, die Fortleitung der E. instantan gefunden. Indessen entscheiden diese Versuche nach der Art, wie sie angestellt wurden, nicht sicher über diese Geschwindigkeit, da Volta gezeigt hat, daſs bei solchen Entladungen von Flaschen und Batterien durch groſse Strecken von Leitern jede Belegung sich ihrerseits entlade, und sich die Elektricitäten der beiden Belegungen nicht unmittelbar mit einander ausgleichen, folglich auch, es mag nun hier die Bewegung einer Flüssigkeit oder die bloſse Fortpflanzung einer Bewegung angenommen werden, diese Flüssigkeit oder Bewegung nicht den Weg von der einen Belegung zur andern zurückzulegen hat, und folglich auch über die Geschwindigkeit derselben nichts daraus hervorgeht. Um über die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der el. Leiter ein sicheres Resultat zu erhalten, müſste man groſse Batterien oder Volta'sche Säulen von groſser Spannung und vorzüglicher Leitung im Innern mit dem einen Ende eines wohl isolirten, mehrere tausend Fuſs langen Drahtes in Berührung bringen, wobei man bei der schnellen Fortleitung des mit der Mittheilung der E. zugleich hervorbrechenden Schalls durch den Draht, die nach Biot's Versuchen für eine Strecke von 12000 Par. Fuſs nur 1,125 Sec. beträgt, sich vielleicht kein Unterschied in der Zeit ergeben würde, in welcher an dem andern Ende des Drahtes dieser Schall gehört wird, und das damit in Berührung stehende Elektrometer durch die Divergenz seiner Strohhalme die bis dahin vorgedrungene Leitung der E. anzeigt, sofern, wie Ritter[1] sinnreich bemerkt, das was im Innern schwingender Körper während ihrer Schwingung vorgeht, eine Reihe oscillatorisch abwechselnder entgegengesetzter el. Processe ist, und folglich die Fähigkeit zur Fortleitung jener Schwingungen und damit des Schalles oder Tones selbst unmittelbar an die Fähigkeit zur Fortleitung die-

1 Schweigg. J. II. S. 231.

ser el. Processe gebunden zu seyn scheint, in welchen aber selbst nichts als die zu ihnen gehörige E. fortgeleitet wird. Daſs jedoch die Schnelligkeit der Fortleitung von der Stärke der E. mit abhänge, und daſs schwächere Grade von E. einige Zeit gebrauchen, wenn sie lange, vollends nicht ganz vollkommene Leiter durchdringen sollen, scheint wohl keinem Zweifel unterworfen, womit dann freilich, so weit bis jetzt unsere Versuche reichen, eine Verschiedenheit zwischen der Art der Fortleitung des Schalles und der E. auch durch die vollkommenen metallischen Leiter sich ergiebt.

Es folgt aus den bisher vorgetragenen Sätzen in Betreff der Mittheilung der E. sehr natürlich, daſs man, um die E. eines Körpers eine zeitlang zu erhalten, ihn isoliren oder mit lauter Nichtleitern umgeben müsse, die wenig oder nichts von seiner E. annehmen. Daſs die Luft ein solcher ist, kommt uns sehr zu statten. Wäre sie ein Leiter, so würde man fast gar keine el. Versuche anstellen können, jeder Körper würde seine E. ihr augenblicklich mittheilen und diese sich in der Atmosphäre zerstreuen. So aber ist ein Körper in der Luft isolirt, wenn er an seidenen Schnüren hängt, auf Glas oder Pech ruht u. s. w. Indeſs ist auch diese Isolation keine vollständige, sondern der elektrisirte Körper verliert sowohl durch Mittheilung an die umgebende Luft, als an die nicht absolut, sondern nur relativ isolirenden Träger, die ihn stützen, oder an denen er hängt, allmälig, wenn gleich in abnehmender Progression, seine E. gänzlich.

Da die Bestimmung der durch die umgebende Luft und die Träger statt findenden Zerstreuung der E. für den Gebrauch der el. Waage zur Beurtheilung und Festsetzung der Gesetze der E. und besonders ihrer Abnahme bei der Mittheilung an andere Körper und der Abhängigkeit ihrer Wirksamkeit von der Entfernung von der gröſsten Wichtigkeit seyn muſste, so hat auch hierüber Coulomb eine Reihe von Versuchen angestellt [1]. Die *Luft* scheint schon an und für sich zur Zerstreuung der E. beizutragen, indem die an den elektrisirten Körper unmittelbar angrenzenden Lufttheilchen ohngeachtet ihres so unvollkommenen Leitungsvermögens doch allmälig das el. Fluidum aufnehmen, wenn sie mit demselben getränkt sind, von dem elektri-

1 Biot Traité II. 244.

sirten Körper zurückgestofsen werden, und neuen Theilchen Platz machen, ohngefähr auf dieselbe Weise wie die Flüssigkeiten die Wärme leiten. Noch mehr als die eigentlichen Lufttheilchen scheinen die Theilchen des *Wasserdunstes*, der sich stets in der Atmosphäre befindet, zur Zerstreuung der E. beizutragen, weswegen denn bei sehr feuchter Beschaffenheit der Luft alle el. Versuche so schlecht gelingen. Auch ziehen die Isolatoren, welche die elektrisirten Körper tragen, aus dieser feuchten Luft leichter Wasser an, und überziehen sich vermöge der Adhäsion mit einer Wasserhaut, welche, wenn sie stärker adhärirt, als sie, nachdem sie da, wo sie an den elektrisirten Körper angrenzt, von diesem E. aufgenommen hat, nunmehr von ihm zurückgestofsen wird, zu einer Fortleitung der E. längs der Ausdehnung des isolirenden Trägers Veranlassung giebt. Aus Coulomb's Versuchen über die allmälige Zerstreuung der E. durch die Luft ergab sich das Resultat, dafs wie verschieden auch dem Grade nach die dadurch veranlafste Zerstreuung nach Verschiedenheit des hygrometrischen Zustandes, der Temperatur und des Luftdruckes an verschiedenen Tagen war, der Verlust doch jedesmal in einen constanten Verhältnisse mit der jedesmaligen el. Spannung blieb, oder einen gleichen verhältnifsmäfsigen Theil in derselben kurzen Zeit z. B. in einer Minute ausmachte, aber freilich zu verschiedenen Zeiten, besonders nach der hygrometrischen Beschaffenheit sehr verschieden ausfiel. So verlor, durch Hülfe der Drehwaage gemessen, ein elektrisirter Körper das eine mal in jeder Minute nur $\frac{1}{60}$, an einem andern Tage aber $\frac{1}{13}$ von seiner jedesmaligen mittleren Kraft. Anders verhält sich die Zerstreuung der E. durch die isolirenden Träger. Im Anfange, so lange die Intensität der E. noch gröfser ist, ist dieselbe sehr merklich, nimmt aber bald ab, und erreicht eine Grenze, wo alle weitere Zerstreuung durch den Isolator aufhört, und dieser den elektrisirten Körper völlig isolirt, während die Zerstreuung der E. durch die Luft in einem gleichmäfsigen Verhältnisse zu der Intensität der E., wenn die Beschaffenheit der Luft dieselbe bleibt, fortdauert.

Die *Mittheilung* der E. geschieht nicht allein bei der unmittelbaren Berührung, sondern auch schon in einiger Entfernung. In diesem Falle ist sie mehrentheils sichtbar, wenigstens im Dunkeln, und geschieht entweder durch Uebergang in Gestalt eines *Funkens*, oder durch Ueberströmen in Gestalt ei-

nes *Licht*- oder *Feuer-Büschels*. Man kann behaupten, daſs in der Regel *Funken* entstehen, wenn die Enden der einander genäherten Körper *stumpf* oder *abgerundet* sind, daſs sich Ströme oder *Feuerbüschel* zeigen, wenn beide Körper oder auch nur einer sich in *Spitzen* enden, und daſs die ebene oder platte Gestalt der genäherten Flächen der Mitteilung sehr hinderlich ist.

Wenn nämlich einem elektrisirten Körper in gehöriger Entfernung ein anderer nicht elektrisirter, vorzüglich ein Leiter genähert wird, so äuſsert sich zwischen beiden eine Anziehung, die desto stärker ist, je näher sie einander kommen (ist der eine Körper leicht und beweglich genug, so reiſst ihn diese Anziehung bis zur andern fort). Wird endlich die Anziehung sehr stark durch gehörige Annäherung, und sind die Körper abgerundet, so entrteht zwischen beiden der el. *Funken*, durch welchen so viele E. übergeht oder mitgetheilt wird, als zur Herstellung des Gleichgewichts zwischen beiden Körpern nöthig ist [1]. Die Weite, in welcher dieses geschieht, heiſst die Schlagweite. Nachher findet man die E. ebenso unter beiden Körpern vertheilt, als wenn sie sich berührt hätten. Sind beide Körper Leiter, und ist der, welcher den Funken empfing, mit der Erde verbunden, so wird durch denselben die E. gröſstentheils hinweggenommen, jedoch nie so vollständig, wie wenn jener mit der Erde verbundene Leiter in unmittelbare Berührung damit gekommen wäre, da der Uebergang der E. von dem elektrisirten Leiter zu dem andern nur successiv, wenn auch gleich für die Beobachtung instantan, ist, und daher bei der Abnahme der E. in diesem Uebergange ein Punct eintritt, wo für die mit viel geringerer Spannung begabte E. die Schlagweite zu groſs geworden ist, und dieser immer nur sehr schwache Rückstand nicht weiter übergehen kann. Ist der elektrisirte Körper ein Nichtleiter, so ist der Funken schwach; er theilt nämlich nur die E. derjenigen Stelle mit, welcher der andere Körper am nächsten ist.

Bei Versuchen, wo man starke Funken oder überhaupt starke Uebergänge der E. zur Absicht hat, werden aus diesem Grunde die Funken nie aus dem geriebenen Nichtleiter selbst gezogen. Man verbindet vielmehr mit dem geriebenen Körper

---

1 S. *Funken, elektrischer*.

einen isolirten metallischen Leiter, welchem jener seine E. mittheilen mufs, und aus dem man die Funken zieht. Dieses ist der sogenannte *Hauptleiter, erste Leiter, Conductor*, dessen Einrichtung bei dem Worte *Elektrisirmaschine* beschrieben wird. Endigt sich der Leiter, der dem elektrisirten Körper entgegengestellt wird, in eine Spitze, so entsteht nicht so leicht ein Funke, und überhaupt nur bei sehr grofser Intensität der E. des elektrisirten Körpers und auf sehr kurze Entfernungen [1]. Aber die Mittheilung oder el. Ausgleichung erstreckt sich nun auf eine viel gröfsere Weite, und erfolgt durch ein anhaltendes, oft mit einem Geräusch begleitetes Ueberströmen, wobei sich im Dunkeln die schon mehrmals erwähnten Feuerbüschel zeigen [2].

Ebene Flächen theilen sich, wenn sie einander genähert werden, die E. nicht leicht mit, und können einander in paralleler Richtung sehr nahe gebracht werden, ehe der Uebergang durch einen Funken erfolgt, der nur dann aus einer grofsen Entfernung hervorbricht, wenn etwa auf der einen oder andern Fläche eine Erhabenheit hervorragt, und dann immer an dieser Stelle. Auf einen geriebenen ebenen Harzkuchen kann man eine glatte Metallfläche ganz auflegen und eine Zeitlang ruhen lassen, ohne dafs sie dem Kuchen das Geringste von seiner E. entzöge [3]. Wenn den Nicht-Leitern E. mitgetheilt wird, so breitet sich dieselbe nicht über ihre ganze Fläche aus, sondern bleibt auf die Stelle, die sie getroffen hat, eingeschränkt. Um die Mittheilung zu befördern und über die ganze Oberfläche zu verbreiten, pflegt man die Fläche der Nicht-Leiter mit einer leitenden Materie z. B. Zinnfolie, Goldblättchen u. d. g. zu belegen [4].

Ueber die Wirkung der mitgetheilten E. auf organische Körper, Thiere und Pflanzen, hat man sehr viele Versuche angestellt, deren Erfolge indefs nicht ganz übereinstimmend ausgefallen sind. Was insbesondere die Wirkung der an isolirte Menschen mitgetheilten E. betrifft, so hatten mehrere Physi-

---

1 S. *Elektrisirmaschine.*
2 Vergl. *Spitzen.*
3 S. *Elektrophor*
4 S. *Flasche, elektrische.*

ker, unter andern Gerhard [1] und Cavallo [2] das Resultat aufgestellt, daſs eine stärkere E. auf diese Weise mitgetheilt den Puls schneller gehen mache, die Ausdünstung befördere und die Absonderung der Drüsen vermehre. Indeſs ist dieses Resultat durch eine erste schon im Jahre 1785 mit aller Sorgfalt an 13 nach Alter und Geschlecht verschiedenen Personen, gröſstentheils Aerzten und geübten Beobachtern mit der groſsen Teyler'schen Maschine zu Haarlem angestellte Reihe von Versuchen, wovon van Marum [3] Rechenschaft gegeben, sehr zweifelhaft gemacht worden. Die Veränderungen des Pulses, welche bei der Elektrisirung der wohl isolirten Personen durch jene so kräftige Maschine eintreten, blieben im Ganzen innerhalb der Grenzen, in welchen sie auch natürlicher Weise ohne alle Elektrisirung bei den meisten dieser Personen statt fanden, da der Puls bei den meisten innerhalb einer Minute bald um einige Schläge sich beschleunigte, bald verlangsamte. Bemerkenswerth ist es jedoch, daſs in den Versuchen, in welchen auch negativ elektrisirt wurde, sich bei allen eine *Verlangsamung des Pulses* zeigte, welche in einem Falle bis 10 Pulsschläge in der Minute betrug, während die positive E. sich so gut wie ohne Wirkung zeigte. Am auffallendsten war dieses Resultat bei einem 10jährigen Mädchen, wie folgende Zahlen beweisen:

Minute.	Pulsschläge vor den Versuchen.	Am positiven Leiter.	Am negativen Leiter.
1	92	92	89.
2	97	97	86.
3	100	100	91.
4	101	97	92.
5	100	101	93.

Spätere Versuche von van Marum an 11 andern Personen [4] gaben dasselbe Resultat der Nichtbeschleunigung des Pulses durch

1 In den nouveaux mémoires de l'acad. Roy. de Berlin de l'année 1772. p. 145.

2 Essay on the theory and practice of medical electricity. London 1780. p. 13.

3 S. Beschryving eener ongemeen groote Electrizeermachine etc. door Martinus van Marum Haarlem 1785. 4. Deutsch Leipzig 1786. 4. Abthl. II. Kap. I. S. 46.

4 2te Forts. der Beschryving etc. S. 50 und G. I. 88.

die bloſse Anhäufung der E. in dem Körper, ohne daſs sich jedoch in diesen neuen Versuchen ein solcher deprimirender Einfluſs der negativen E. bestätigt hätte, so daſs vielleicht eine besondere Idiosynkrasie einzelner Personen mit in Anschlag gebracht werden muſs, die hierbei überhaupt sehr in Betracht kommt, indem die Empfindlichkeit verschiedener Personen für die E. sehr verschieden ist, wie dann sogar Fälle von Personen vorgekommen sind, die ganz unempfindlich für E. waren, wie z. B. jenes Frauenzimmer, das die stärksten el. Schläge auf andere überleiten konnte, ohne selbst die geringste Empfindung davon zu haben [1], was auch bei andern Personen in Beziehung auf die Schläge des Zitterals beobachtet worden ist [2]. Grimm führt einen Fall eines Menschen an, dem jedesmal, so oft er das Isolatorium betrat, und durch Verbindung mit dem ersten Leiter elektrisirt wurde, das Blut aus der Nase floſs [3] und Suntelin [4] erzählt von einem Bekannten, daſs er sich nich lange in der Nähe einer in Thätigkeit gesetzten Elektrisirmaschine habe aufhalten dürfen, ohne mit Leibweh und Durchfall gestraft zu werden. Man hat neulich wieder das negative Resultat van Marum's in Beziehung auf die Beschleunigung des Pulsschlages in Anspruch nehmen wollen, und namentlich behauptete Dr. Böckh [5] in 360 Versuchen gefunden zu haben, daſs sowohl die positive als negative E. den Puls meistens beschleuniget, und nur selten denselben verlangsamet habe. Wenn man indeſs die obige Bemerkung van Marum's über die natürlichen Variationen des Pulses und den Einfluſs mitwirkender Umstände berücksichtiget, so wird man auf jene Behauptung des Dr. Böckh um so weniger Gewicht legen, da die Versuche anderer so vollkommen mit denen van Marum's zusammenstimmen, namentlich Suntelin's [6], der ausdrücklich bemerkt, er glaube sich durch genaue Versuche überzeugt zu haben, daſs die bloſse Anfüllung mit E., das sogenannte *el. Bad*, weder den Puls zu beschleuni-

1 Gilb. Ann. XIV. 424.

2 ebendas. S. 420.

3 Gilb. Ann. VII. S. 365.

4 Anweisung zur medicinischen Anwendung der E. u. s. w. Berlin 1822 S. 17.

5 Beiträge zur Anwendung der E. auf den menschlichen Körper Erlangen 1791.

6 a. a. O. S. 44.

gen, noch ihn voller zu machen vermöge, und dafs, wo Ausnahmen durch eine besondere Idiosynkrasie statt finden, die Pulsschläge zwar schneller aber nicht voller und stärker, sondern vielmehr kleiner und schwächer wurden, in Folge der ängstlichen Empfindung, welche bei solchen Menschen durch den el. Einflufs geweckt wird.

Bei Gelegenheit obiger Versuche stellte van Marum auch Versuche über den Einflufs der E. auf die unmerkliche Ausdünstung an, indem er den Gewichtsverlust von verschiedenen Kindern von 6 — 8 Jahren durch die unmerkliche Ausdünstung während einer halben Stunde, wenn sie nicht, und wenn sie elektrisirt waren, bestimmte, wo sich indessen keine Vermehrung derselben ergab. Grimm hat indefs gegen diese letzteren Versuche einige erhebliche Einwendungen gemacht [1] und behauptet, sowohl an sich als an mehreren Kranken, die er elektrisirte, die Ausdünstung bis zum Hervorbrechen des Schweifses beobachtet zu haben. Auch Suntelin [2] fand die Ausdünstung in seinen mit verschiedenen Personen angestellten Versuchen durch das el. Bad etwas vermehrt, indem ein Spiegel dem Arme derselben in einer gewissen Entfernung gegenüber gehalten getrübt wurde, der unter denselben Umständen, nur dafs die Elektrisirung unterlassen worden, klar geblieben war, leitet aber diese Wirkung von einem blofsen Fortreifsen der Feuchtigkeit der Haut durch die zurückstofsende Kraft der E. ab, so wie die Feuchtigkeit einer Spitze durch den von ihr ausströmenden el. Feuer-Pinsel mit fortgerissen werde. Es ist schwer auszumitteln, welchen Einflufs auf den Erfolg von Versuchen, wie sie van Marum anstellte, Gemüthsaffecte haben können, insbesondere bei Kindern die Furcht, die in einem entgegengesetzten Sinne wie die E. auf die Ausdünstung wirken, und damit die von letzterer abhängige Vermehrung wieder aufheben könnte. Soviel kann indefs als ausgemacht angesehen werden, dafs die Vermehrung der Ausdünstung auf keine active Weise durch die Beschleunigung des Kreislaufes des Blutes zu Stande kommt, da diese nach so vielen negativen Versuchen als nicht vorhanden angenommen werden mufs. Die Wirkungen der E. auf das aus der Ader gelassene Blut, worüber Schübler Versu-

---

1 G. VII. 355.
2 a. a. O. S. 49.

che angestellt hat, gehören mehr in die Physiologie als hierher [1]. Uebrigens wird unter dem Artikel: *Elektricität, medicinische* von den Wirkungen der E. auf den kranken menschlichen Organismus noch besonders gehandelt werden. Auch auf die *Pflanze* und ihr Wachsthum hatte man nach früheren Versuchen der an diese im isolirten Zustande mitgetheilten E. einen besondern Einfluſs zugeschrieben. Maculray in Edinburgh war der erste, der ein Befördern des Keimens der Pflanzen durch Elektrisiren beobachtet haben wollte, ein Resultat, welches Nollet durch seine Versuche [2] bestätigte. Indeſs ist dasselbe von Dr. Ingenhouss [3] durch sehr genaue Versuche völlig ungegründet befunden. Dieser schafsinnige Beobachter schreibt die vorgegangene Täuschung dem Umstande zu, daſs das Licht auf das Wachsthum junger Pflanzen einem sehr nachtheiligen Einfluſs hat. Nun, sagt er, legte man bei solchen Versuchen die Samenkörner auf den Boden elektrisirter Gefäſse, welche nahe bei der Elektrisirmaschine im Dunkeln standen. Wenn sie dann ungleich besser fortkamen und keimten, als die im Lichte oder an der Sonne stehenden unelektrisirten, so schrieb man dieses bessere Gedeihen ganz ehrlich auf Rechnung der E. Die Ingenhouss'schen Versuche, die mit möglichster Sorgfalt angestellt sind, lehren überzeugend, daſs zwischen dem Wachsthum elektrisirter und unelektrisirter Pflanzen nicht der mindeste Unterschied statt findet, wenn man nur Sorge trägt, beide in einerlei Lage gegen das Licht des Tages und der Sonne zu erhalten. Eben dieses bestätigen auch die von Ingenhouss und Schwankhard gemeinschaftlich angestellten Versuche mit Senfkörnern und Kresse [4], wobei noch bemerkt wird, daſs Zwiebelgewächse, z. B. Hyacinthen, Jonquillen u. d. g. wegen der in verschiedenen Subjecten äuſserst verschiedenen Vegetationskraft bei dergleichen Versuchen niemals sichere Resultate geben. Durch neuere Versuche will indessen Müller [5] allerdings einen wohlthätigen

---

1 Schw. Journ. II. 292.

2 Recherches sur les causes des phénomènes électriques Paris 1749. 4.

3 Versuche mit Pflanzen 3ter Band Wien 1790. 8. 7te und 8te Abtheilung S. 65. 83.

4 Gothaisches Magazin für das Neueste u. s. w. V. 1 St. S. 161 ff.

5 Zusätze zu Singers Elementen der E. S. 384.

Einfluſs der E. auf das Keimen beobachtet haben, den er jedoch nur dann am sichersten erhielt, wenn er die Pflanzen bloſs in der el. Atmosphäre des positiven oder negativen Conductors isolirt stellte. Derselbe will auch bei Elektrisirung von verschiedenen Aufgüssen beobachtet haben, daſs sich die Infusionsthierchen viel schneller entwickelten und zu einer vollkommenern Art übergingen, doch bemerkt er selbst, daſs sowohl dieser Erfolg als derjenige der Beförderung des Keimens und Wachsthums der Pflanzen nie mit Gewiſsheit voraus bestimmt werden konnte. Es bleibt also bis weiter dieser Einfluſs wenigstens problematisch.

Bertholon de St. Lazare erzählt in Beziehung auf die Pflanzen [1] einige Versuche, welche Le Drü im Jahre 1776 mit der Mimosa (M. sensitiva L.) angestellt haben will. Diese Pflanze, welche sonst ihre Blätter bei jeder Berührung schlieſst, soll diesem Versuche zufolge sie nicht zusammenziehen, wenn die Berührung mit glatten Stäbchen von Glas, Siegellack, Bernstein oder jeder andern nicht leitenden Materie geschieht. Indeſs wurden diese Versuche von Ingenhouss falsch befunden. Die sorgfältigste Erfahrung bewies ihm, daſs dergleichen Stäbchen nicht mehr und nicht weniger thun, als andere von polirtem Metall, und daſs alles nur darauf ankomme, ob die Berührung erschütternd oder nur vorübergehend ist. Wenn man die Blätter an einen elektrisirten Leiter brachte, so senkten sie sich eben so, als wenn man darauf blieſs, und wenn man die Pflanze mit zusammengefallenen Blättern auf einem Isolirgestelle elektrisirte so erhoben sich dieselben um nichts schneller, als wenn sie unelektrisirt stehen blieben. Auf die Bewegungen der Blätter des *Hedysarum gyrans* (*Moving Plant* der Engländer) hat man die Wirkung der E. vielmehr nachtheilig gefunden [2]. Verbindung mit elektrisirten Leitern, und Berührung damit, hatte auf diese Blätter gar keine Wirkung, auſser daſs sie, wie andere leichte Körper, angezogen und abgestoſsen wurden. Ward aber das Blatt mit einer geriebenen Siegellackstange berührt, so sank es allmälig nieder, und erhob

---

1 In seinem Buche über die E. aus dem Französischen. Leipzig 1785. 8. S. 177.

2 8. Gothaisches Magazin für das Neueste u. s. w. V. Bd. 3 St. S. 13.

sich erst nach einigen Stunden. Funken, wenn sie länger fortgesetzt wurden, trieben das aufgerichtete Blatt noch schneller nieder, so dafs es sich den ganzen Tag nicht wieder erhob. Ward das Elektrisiren mit Funken und Erschütterungen einige Tage lang, obwohl nur Minutenweise fortgesetzt, so verlor das Blatt seine ganze Beweglichkeit und blieb auf immer hängend an den Stiel geschlossen. In diesem Zustande blieb es noch vierzehn Tage bei völlig frischem Ansehen; dann aber ward es gelb, welk und fiel ab. Das Sonderbarste war, dafs dadurch auch alle andern Blätter auf dieser Seite hängend wurden, und sich nicht mehr so lebhaft, wie zuvor, bewegten.

Auf die kleinen Seitenblättchen dieser Pflanze, welche eine eigene, fast willkürlich scheinende Bewegung zeigen, wirkten Funken, Erschütterungen und Berührung mit elektrisirten Körpern gar nicht. Dagegen brachte die Verbindung der ganzen Pflanze mit einem elektrisirten Leiter, welche auf die grofsen Blätter ganz unwirksam war, ein weit lebhafteres und schnelleres Balanciren der Seitenblättchen hervor, welches noch geraume Zeit nach dem Elektrisiren fortdauerte.

Auch van Marum [1] konnte in seinen Versuchen keine eigenthümliche Einwirkung der E. auf die sogenannten reizbaren Pflanzen und ihre so merkwürdigen Bewegungen beobachten. Die Nähe der Conductoren, diese mochten positiv oder negativ geladen seyn, wirkte so wenig, wie ein el. Bad. Gab indefs der Conductor während letzterem Funken an benachbarte Körper, so schlossen sich die Blätter der Mimosa, und knickten nieder, was aber van Marum nicht sowohl aus der Wirkung der E. als solcher, als vielmehr daraus erklärt, dafs diese empfindlichen Blätter sehr viel bei den abwechselnden Bewegungen leiden, welche der el. Stofs hervorbringt, da die Blätter auch dann sanken, wenn man ihnen auf eine andere Art abwechselnde Bewegungen mittheilte. Van Marum konnte auch weder bei der positiven noch negativen Elektrisirung so wenig des isolirten als nicht isolirten Hedysarum gyrans die geringste Veränderung in der Bewegung der kleinen Blättchen desselben wahrnehmen [2]. Indefs hat J. W. Ritter später eine Reihe von el. Versuchen an der Mimosa pudica L. in Parallele mit

---

1 G. I. 114.
2 G. I. 116.

gleichen Versuchen an Fröschen [1] angestellt, nach welchen er es für unzweifelhaft hält, dafs die E. als ein ganz eigenthümlicher Reiz, und nicht blofs durch die mit gewissen Wirkungsformen derselben verbundene mechanische Erschütterung auf die Reizbarkeit der Mimosa wirke, dafs in dieser Einwirkung sogar ein polares Verhältnifs der beiden Elektricitäten statt finde, indem die positive E. am stärksten auf Zusammenziehen der Blätter und Sinken der Zweige wirke, wenn sie von Innen nach Aufsen, vom Stamme nach den Enden der Blattabtheilungen ihre Bewegungsrichtung hat, die negative E. am stärksten bei umgekehrter Richtung, worin sich die Mimosen gerade auf die entgegengesetzte Weise wie die Thiere verhalten sollen, wo bei hoher Erregbarkeit vielmehr die negative E., wenn sie von Innen nach Aufsen, vom Nervenstamme nach seinen Endigungen in den Muskeln gerichtet ist (oder bei der Annahme nur *einer* el. Materie der el. Strom die Nerven aufwärts nach ihrem centralen Ende hin sich bewegt) den stärkeren Reiz ausübe. Uebrigens bediente sich Ritter bei diesen Versuchen sowohl der Entladungsschläge schwach geladener Leidner Flaschen, als auch des ununterbrochenen el. Stromes, der von dem ersten Leiter durch die Mimosa hindurch nach dem Reibzeuge ging, und der in der Mimosa noch Zusammenziehungen hervorbrachte, während er auf ein höchst empfindliches Froschpraeparat ohne Wirkung war.

Wasser, das aus isolirten Gefäfsen durch enge Röhren ausläuft, wird durch Mittheilung der E. schneller herausgetrieben. Sind es Haarröhrchen, durch welche das Wasser im natürlichen Zustande nur tröpfelt, so wird durch die E. ein ununterbrochener Strom hervorgebracht, der sich noch in viele andere Strahlen zertheilt, die E. treibt sogar das Wasser aus den engsten Haarröhrchen, durch welche es vorher nicht einmal durchzutröpfeln im Stande war [3]. Ueber dieses Auslaufen des Wassers aus engen Röhren hat Dr. Carmoy [2] genaue Versuche angestellt. Es blieb nämlich ungeachtet der Verwandlung des Auströpfelns

---

1 Schweigg. J. d. Ch. I. 409.

2 Nollet Recherches. S. 327.

3 Journ. de Phys. Nov. 1783. übers. im Gothaischen Magazin u. s. w. VII. Bd. 1. St. S. 63. ff.

durch Mittheilung der E. in ein ununterbrochenes Ausfliefsen in einem Strome immer noch die Frage, ob durch dieses Strömen in gleicher Zeit mehr Wasser aus dem Gefäfse getrieben werde als durch das Tröpfeln. CARMOY fand, dafs in einem Zeitraum von 75 Stunden 10 Minuten unter übrigens gleichen Umständen

ohne E. 2 Pfund 12 Unzen 2 Qt. 65 Gr.
mit E. 2 — 11 — 5 — 36½ —

Wasser aus einem Gefäfse gelaufen waren. Dieses war wenigstens das Resultat der meisten Versuche, nach welchen es nicht scheint, dafs durch die E. die Geschwindigkeit des Wassers in Haarröhren in der That vermehrt, und also vielmehr nur die Tropfenbildung wegen der zurückstofsenden Kraft, welche die elektrisirten kleinsten Wassertheilchen gegen einander ausüben, verhindert werden. Andere Versuche mit Auslaufröhren von verschiedener Länge, Gestalt und Durchmesser, gaben zwar andere Resultate, wobei auch manchmal die mit E. ausgelaufene Wassermenge etwas gröfser war, es schien aber blofs von zufälliger Beschaffenheit der Gefäfse abzuhängen.

Ob die Verdunstung des Wassers durch die Mittheilung der E. befördert werde, darüber fehlt es bis jetzt gänzlich an genauen Versuchen. In früheren Zeiten hielt man die Kraft der E., die Verdunstung zu befördern, selbst für so wirksam, dafs mit Hülfe derselben Substanzen sogar durch die Zwischenräume des Glases verdunsten sollten. PIVATI in Venedig elektrisirte Glasröhren, in die er Arzneien einschlofs, und glaubte Kranke dadurch geheilt zu haben, auch WINKLER in Leipzig meinte zu finden, dafs Schwefel-Zimmet, peruvianischer Balsam u. d. g. durch elektrisirte Glaskugeln verdunsteten, es ward aber dies alles durch NOLLET's, WATSON's und BIANCHINI's Versuche gänzlich widerlegt.

CAVALLO führt[1] Versuche an, nach welchen er zwei gleich grofsen zinnernen Tellern, auf deren jeden gerade soviel Wasser gegossen wurde, als nöthig war, um den Boden zu bedecken, das eine, welches auf einem isolirten Stative sich befand, und mit dem Conductor der Elektrisir-Maschine in Verbindung gesetzt wurde, innerhalb einer halben Stunde, während welcher es fortdauernd in bedeutendem Grade elektrisirt wurde, durch

1 Versuche über Theorie und Anwendung der medicinischen E. S. 65. 2. Ausg. der Uebers.

Verdunstung mehr verloren hatte, als das andere, das sich mit denselben unter sonst gleichen Umständen befand. Dieselbe Wirkung erhielt CAVALLO, gleichviel ob er die positive oder negative E. anwendete. Diese Versuche sind indeſs selbst in Rücksicht auf ihre Resultate mit so wenig Genauigkeit beschrieben, daſs sie eben darum kein groſses Vertrauen einflöſsen. Dies gilt noch weit mehr von den Behauptungen HERMBSTÄDT's[1], nach welchen die Erfahrung bewiesen haben soll, daſs die E. in Verbindung mit der Wärme eine stärhere Verdunstung veranlasse, als die Wärme für sich allein, ja daſs selbst bei verminderter Temperatur das gebildete expansible Fluidum seine Form unverändert behalte. Letztere Behauptung allein muſs schon hinreichen, das gröſste Miſstrauen einzuflöſsen, da überdies von den Versuchen selbst gar nicht die Rede ist.

Bei dieser Lage der Sachen entschloſs ich mich, sie mit aller Sorgfalt zu wiederholen. Ich elektrisirte daher isolirte Gefäſse von verschiedener Gestalt und Materie mehrere Stunden lang bald positiv, bald negativ, konnte aber nicht den geringsten Unterschied in der Menge des verdunsten Wassers zwischen ihnen und den Gefäſsen, die sich mit ihnen ganz gleich verhielten und unter sonst gleichen Umständen, nur daſs sie nicht elektrisirt wurden, befanden, beobachteten. Um die E. dem Wasser gleichsam mehr einzuverleiben, brachte ich bei gläsernen Gefäſsen Stanniol auf den Boden derselben, und machte mit diesem die leitende Verbindung. Ich bediente mich dabei meiner höchst kräftigen Elektrisirmaschine, welcher die von CAVALLO gebrauchte weit nachsteht. Ohngeachtet also hier vorausgesetzt werden kann, daſs die E. allmälig aus dem Wasser in die Luft überströmte, nahm sie doch kein Wasser in Dunstgestalt mit sich fort, znm Beweise, daſs die E. an und für sich nicht das Princip der Aenderung des Aggregatzustandes der Körper ist.

Wenn man einem durch die Luft-Pnmpe gemachten sogenannten luftleeren Raume (Bolye's Leere) E. mittheilt, so durchdringt sie ihn fast ebenso frei, als den besten Leiter, und zeigt dabei ein sehr ausgebreitetes starkes Licht. Ein el. Feuerbüschel, der in einen solchen Raume strömt, breitet sich aus, und erfüllt alles mit strahlenförmigem Lichte. Eine luftleere Glasröhre zeigt gerieben oder an einem elektrisirten Leiter ge-

[1] Gehlen n. allg. J. d. Ch. II. Bd. 339.

halten ein starkes, dem Wetterleuchten ähnliches Licht. Wenn man eine Reihe solcher Glasröhren, die durch die Dämpfe des kochenden Quecksilbers erst so vollkommen luftleer wie möglich gemacht worden sind, und die man dann an der Schmelzlampe von dem Theile, in welchem sich das Quecksilber befindet, abgetrennt hat, von einer Länge von einem oder anderthalb Schuhen theils gerade, theils schlangenförmig gekrümmt in paralleler Richtung neben einander durch kleine Kettchen, die durch messingene Fassungen mit ihnen zusammenhängen an einem isolirten Metalldrahte aufhängt, und an ihrem untern Ende durch ähnliche Kettchen mit einem gleichen Metalldrahte verbindet, von welchem man eine Ableitung nach der Erde führt, und den obern Metalldraht mit dem ersten Leiter einer hinlänglich wirksamen Elektrisirmaschine in Verbindung setzt, so findet durch alle Glasröhren ein beständiges zuckendes, ins blaue oder violette sich ziehendes helles Leuchten statt, das mit den Radiationen des Nordscheins einige Aehnlichkeit hat. Mehrere solche luftleere Glasröhren die sich in einem Mittelpuncte durchkreuzen, bilden einen schönen grofsen Stern oder eine Sonne, deren Strahlen, oder die einzelnen Glasröhren beim Durchleiten der E. bisweilen mit verschiedenfarbigem Lichte, die eine mit grünem, eine andere mit mehr purpurfarbigem Lichte erfüllt sind, wovon der Grund weiter unten erhellen wird. Dieses Leuchten findet auch statt, wenn die E. dem innern Raume der Glasröhre gar nicht mitgetheilt werden kann, weil kein Zuleiter zu demselben führt, und hängt in diesem Falle von der durch Vertheilung erregten E. ab. Haswkbee hat das Leuchten des Barometers [1] schon ganz richtig für eine el. Erscheinung erklärt. Beim Schütteln nämlich reibt das Queksilber die innern Fläche des Glases, und erregt dadurch E., die sich mit ziemlich lebhaftem Lichte in dem relativ leeren Raume ausbreitet. Man hat durch Quecksilberdampf luftleer gemachte Glasröhren, welche ein wenig Quecksilber enthalten. Sie leuchten im Dunkeln, wenn man das Quecksilber hin und her laufen läfst, und dieses Licht ist selbst noch intensiver, als wenn man von Aufsen mitgetheilte E. durch solche Röhren strömen läfst. Hawksbee und nachher Johann

1 Vergl. über diesen Gegenstand Th. I. S. 940. dieses Wörterbuches.

Bernoulli [1] haben ihnen den Namen des Quecksilberphosphors gegeben. Eben dies geschieht nun im Barometer. Ludolf in Berlin zeigte, daſs die Barometerröhre während des Leuchtens Papierchen anzog, wenn der äuſsere Raum verdünnte Luft enthielt. Musschenbroek [2] glaubte dagegen aus seinen Versuchen den Schluſs ziehen zu können, daſs das Leuchten im völlig luftleeren Raume nicht statt finde. Wenn man ein recht gutes Barometer zweimal auskocht, so leuchtet es gewöhnlich nach dem zweiten Auskochen stärker, weil das Quecksilber und Glas dadurch in einen vollkommener trockenen Zustand durch die Verjagung auch der letzten Spur des anhängenden Wasserhäutchens versetzt werden, wodurch erst die unmittelbare Berührung und Reibung zwischen beiden, und damit die Elektricitätserregung eintritt, was in einzelnen Fällen auch durch ein länger fortgesetztes erstes Kochen erreicht werden könnte. Kocht man es aber zum drittenmal, so wird das Leuchten schwächer, oder hört ganz auf, weil die Luft nun ganz weggenommen ist. Damit stimmen auch im wesentlichen die späteren Erfahrungen J. A. de Lüc's [3] überein, der jedoch bemerkt, daſs auch die Beschaffenheit des Glases darauf Einfluſs habe, da eine Röhre, deren innere Wandungen mehr rauh sind, auch unter den günstigsten Umständen dieses Leuchten nicht zeigt. Walsh und Morgan [4] stellten noch anderweitige Versuche an, durch welche besonders Letzterer es auſser allem Zweifel gesetzt zu haben glaubte, daſs in der Torricellischen Leere das el. Licht vollkommen verschwinde. Dessaignes wollte sogar bei einer so weit getriebenen Verdünnung unter der Glocke einer Luftpumpe, daſs die an dem Drahte, durch welchen der el. Strom in die Boyle'sche Leere geleitet wurde, hängenden Korkkügelchen gar nicht mehr divergirten, alles el. Licht verschwinden gesehen haben. Indeſs wurde die Nichtigkeit dieser Resultate durch neue Versuche von Candi [5] in Anspruch genommen, weil aber diese Versuche manche Gegeneinwen-

---

1 De Mercurio lucente in Vacuo. Opp. Tom. II. p. 112.

2 Essai de Physique. Leiden 1751. 4. p. 640.

3 Untersuchungen über die Atmosphäre I. 301.

4 Philos. Trans. 1785. p. 272.

5 Mémoires de l'acad. royale des Sciences à Turin. Tome V. übers. in Gren's. Journ. IV. 93.

dungen zuliefsen und die Sache nicht vollkommen zur Entscheidung brachten, so war es von grofsem Interesse, dafs ein so scharfsichtiger, sinnreicher und geübter Experimentator wie H. Davy eine neue Reihe von Versuchen über das Verhalten der E. in einem möglichst leeren Raume, so weit sich ein solcher auf Erden darstellen läfst, anstellte [1]. Versuche, die auch in anderer Hinsicht wichtig sind, da ihre Resultate auf die Ansicht der Natur der E. und die Erklärung der mit ihrer Bewegung verbundenen Lufterscheinungen von Einflufs sind. Davy bemerkt richtig, dafs die Torricelli'sche Leere, wenn sie auch, gehörig veranstaltet, als eine vollkommene Luftleere angenommen werden könne, doch keinen absolut leeren Raum darstelle, da den neuern Untersuchungen über die Verdunstnng zufolge eine wenn gleich in gewöhnlicher Temperatur höchst dünner Quecksilberdampf darin existire, und es kam also vorzüglich darauf an, diesen soviel möglich aus dem Spiele zu bringen, um beurtheilen zu können, welchen Antheil er in dem gewöhnlichen Falle an den Phänomenen habe. Davy bediente sich zu seinen Versuchen einiger gebogener zweischenklicher Glasröhren mit einem längeren bis 20 Zoll langen Schenkel. Der längere Schenkel war an seinem Ende zugeschmelzt, und entweder mit einem eingeschmelzten Platindrahte versehen, bestimmt, die E. hinein oder heraus zu lassen (der Sprache Davys, der hierin die Franklin'sche Ansicht befolgt, gemäfs) oder statt desselben mit einer kleinen cylindrischen Kappe aus Zinn - oder Platin - Folie, deren er sich bediente, als er die Ladungsfähigkeit des leeren Raumes erproben wollte. An dem kürzeren offenen Schenkel befand sich eine messingene Fassung, in welche sich ein Hahnstück einschrauben liefs, das durch ein bewegliches Rohr mit einer vortrefflichen Luftpumpe in Verbindung gesetzt werden konnte. Um nun einen leeren Raum zu bewirken, wurde erst der längere Schenkel mit Quecksilber oder geschmolzenem Zinn gefüllt, und dann durch Verbindung mit der Luftpumpe der leere Raum erzeugt, indem im Verhältnisse der Verdünnung das Quecksilber oder das geschmolzene Metall in dem längeren Schenkel herabsinken mufste, wodurch man es in seiner Macht hatte, den leeren Raum in einer gröfse-

1 Aus dem I Part. der Philos. Trans. für 1822 frei übersetzt von Gilb. Ann. 1822. III. 357.

ren oder kleineren Ausdehnung zu bilden, indem man die Luft oder das Gas (in einigen Versuchen war das Rohr und der Apparat vor dem Auspumpen mit Wasserstoffgas gefüllt worden) in dem kürzeren Schenkel so weit zu verdünnen im Stande war, dafs es einer Säule des flüssigen Metalls von jeder beliebigen Länge von 20″ bis $\frac{1}{10}$″ durch seine Elasticität das Gleichgewicht hielt. Das Quecksilber wurde immer erst kurz vor dem Versuche gereinigt, und in der Röhre 6 oder 7 mal von der Spitze nach der Grundfläche und von da nach der Spitze hin ausgekocht. Die so bereitete, wenigstens von Luft gänzlich befreite Torricelli'sche Röhre fand nun Davy für die E. durchgänglich, sie wurde sowohl durch den gewöhnlichen el. Funken als durch die Entladung einer Leidner Flasche leuchtend, und das belegte Glas, das die Leere umgab, nahm dabei eine Ladung an. Der Grad der Stärke dieser Erscheinung hing aber von der Temperatur ab. War die Röhre sehr heifs, so zeigte sich das el. Licht in dem (Quecksilber-) Dampfe mit lebhafter und sehr intensiver grüner Farbe, in dem Grade aber, als die Temperatur abnahm, verlor die Farbe an Lebhaftigkeit, und in einer künstlichen Kälte von — 20° F. (nahe — 23° R.) war das Licht so schwach, dafs es sehr dunkel seyn mufste, wenn man es wahrnehmen sollte. Auch fand sich die dem Stanniol- oder Platinbleche mitgetheilte E. um so stärker, je höher die Temperatur war, und in 0° F. (— 14$\frac{2}{9}$° R.) Kälte nur äufserst schwach. Beide Arten von Erscheinungen haben, wie Davy bemerkt, ihren Grund in der gröfseren Dichtigkeit des Quecksilberdampfes in den höheren Temperaturen. Während des Kochens in dem Schenkel der Röhre, in welchem der leere Raum gemacht wurde, zeigte sich das el. Licht in dem ganz reinen und dichten Dampfe des Metalles mit einem solchen Glanze, dafs dieses ein sehr schönes Schauspiel abgab. Während der Quecksilberdampf sich zu Kugeln verdichtete, drang die E., die durch Reiben des Quecksilbers an den Glaswänden erregt wurde, durch den Dampf in so glänzenden Funken hindurch, dafs sie im hellen Tageslichte sichtbar waren [1]. Wenn man in die Leere über

---

[1] Diese Erfahrung ist für die Theorie der Elektricitätserregung besonders wichtig, da sie eine reichliche Erregung derselben auch beim Ausschlufs alles Sauerstoffs und jedes chemischen Processes beweist.

dem Quecksilber die geringste Menge verdünnter Luft hineinliefs, so verwandelte sich jedesmal die Farbe des durch das Hindurchgehen der E. entstandenen Lichtes aus Grün in Meergrün, und liefs man noch mehr Luft hinein, so ging sie in Blau oder Purpur über. Dieser Versuch Davy's erklärt vollkommen jene verschiedenen Farben in den Strahlen (luftleeren Röhren) der el. Sonne, von denen oben die Rede war.

Um allen Quecksilberdampf zu vermeiden, und also das Phänomen in einem, wo möglich absolut leeren Raume darzustellen, versuchte Davy sich statt des Quecksilbers eines leicht zu schmelzenden Zinn-Amalgams zu bedienen, das beim Erkalten in der Röhre anschlofs; die Resultate blieben aber genau dieselben, als da er blofses Quecksilber genommen hatte, woraus erhellte, dafs in der Hitze, wobei das Amalgam schmolz, ein Theil Quecksilber sich als Dampf verflüchtigt haben mufste, der beim Abkühlen nicht ganz verschwinden konnte, sondern nur auf eine geringere Dichtigkeit zurückging. Eine Leere über der leicht schmelzbaren Wismuth-Legirung (das Rose'sche Metallgemisch) hervorzubringen, mufste Davy nach einigen Versuchen aufgeben. Diese Legirung ist so äufserst leicht oxydirbar, dafs sie die Glasröhre mit Schmutz dicht überzog und undurchsichtig machte. Dagegen hat Davy viele Versuche mit Zinn angestellt, welches er in kleine Stücke zerschnitt, und sogleich in die Röhre brachte, worauf diese mit Wasserstoffgas gefüllt, ausgepumpt und einer Hitze ausgesetzt wurde, bei welcher das Zinn schmelzte. Wenn mit dem Erhitzen eine Zeitlang unter Schütteln und daran Klopfen fortgefahren wurde, so erhielt er eine Säule geschmolzenen Zinns, die von aller Luft vollkommen befreit war. Dennoch zeigte der leere Raum über dem Metall dieselben el. Erscheinungen, als in Temperaturen unter 0° F. das über Quecksilber gebildete Vacuum. Das Licht war gelb und von der schwächsten Phosphorescenz, so dafs es fast vollkommen dunkel seyn mufste, wenn man es gewahr werden sollte; die Wärme verstärkte dieselbe nicht merklich. Davy fand auch in der Leere über dem Quecksilber feine mit Kügelchen versehene Platindrähtchen beim Einströmen der E. in dieselben eben so divergiren, als in der Luft selbst. Bei der Art, wie Davy diese Versuche anstellte, ergab sich zugleich der entscheidende Beweis, dafs die Schwäche des Lichtes in der vollkommenen Luftleere nicht davon herrühre, dafs diese

Leere ein Nichtleiter der E. sey, sondern vielmehr umgekehrt, daſs dieselbe ein sehr vortrefflicher Leiter ist, und der Ausbreitung der E. kein Hinderniſs in den Weg legt. Als nämlich die Versuche so abgeändert wurden, daſs die Verbindung, die zwischen dem Quecksilber und dem kürzeren Schenkel und dem Hahnstücke sonst durch einen Draht unterhalten war, aufgehoben wurde, und die E. ihren Weg von jenem Quecksilber nach dem Hahnstücke durch die verdünnte Luft, die sich darin befand, nehmen muſste, so entband dieselbe Entladung von E., welche in dem oberen leeren Theile des längeren Schenkels ein schwaches grünes Licht erzeugte, in dem unteren luftverdünnten Raume ein lebhaftes purpurfarbenes Licht, und gab in der Atmosphäre einen starken Funken.

Auch über Baumöl und Spieſsglanzbutter widerholte Davy den Versuch mit dem el. Lichte im luftleeren Raume. Es fand sich, daſs die E. durch den Dampf des Chlorantimon's mit viel glänzenderem Lichte als durch den Dampf des Baumöls hindurch ging, und in letzterem mit mehr Glanz als im Quecksilberdampfe, bei gewöhnlicher Temperatur erschien, so daſs also auch hier die Dämpfe im Verhältnisse ihrer Dichtigkeit den Glanz vermehrten. Im Dampfe des Chlorantimon's war das Licht von reinem *Weiſs* und im Dampfe des Baumöls *roth* in *Purpur* spielend, und es erzeugte sich in beiden Fällen beim Hindurchgehen der E. ein bleibend elastisches Fluidum. Wenn man Dalton's Gesetz zum Grunde legt, daſs die E. aller Dämpfe in gleichen Temperaturabständen von ihrem Siedepuncte von gleicher Gröſse sey, so ergeben sich bei 52° F. für die Dämpfe des Quecksilbers, Olivenöls, Chlorantimon's und Zinns, von denen die drei ersteren ihre Siedepuncte bei 652; 592 und 388° F. haben, und des letzten Siedepunct von Davy zu 5000° F. angenommen wird, in Zollen von Quecksilbersäulen ausgedrückt, Elasticitäten von 0,000 156; 0,0168 und 0,0169, und 370 mit vorstehenden 48 Nullen, woraus erhellet, wie auſserordentlich gering die Menge von Materie in den Dämpfen ist, deren Wirkung auf die el. Erscheinungen noch wahrgenommen wird. Bis ohngefähr 20° F. (— $5\frac{1}{2}$° R.) schien die Erkältung der Leere noch Einfluſs auf die Verminderung der Licht-Erscheinung beim Durchgehen der E. zu äuſsern, aber zwischen 20° und — 20° F (— $23\frac{1}{9}$° R.) schien dieses Vermögen der Leere nicht weiter vermindert zu werden. Die el. Er-

scheinungen zeigten sich hier fast von derselben Intensität, als die welche Davy in der Leere über geschmolzenem Zinn wahrgenommen hatte, und damit in diesem Falle Leuchten eintreten sollte, mufste die Elektrisirmaschine schon sehr wirksam seyn. Die Torricelli'sche Röhre vermochte nicht eine schwach geladene Leidner-Flasche mit Explosion zu entladen, ohngeachtet sich ihre E. langsam durch sie hindurch verlor. Wenn aber die Flasche stark geladen war, hatte sie durch den leeren Raum fast eine eben so grofse Schlagweite, als durch die gewöhnliche Luft, und zeigte beim Entladen im Schatten sichtbares Licht. In allen Temperaturen unter 200° F. (74⅔° R.) war, wie sich Davy ausdrückt, die Leere über dem Quecksilber ein viel schlechterer Leiter, als die sehr verdünnte Luft, und als sich die Röhre mit der Leere unter dem ausgepumpten Recipienten der Luftpumpe in einer Temperatur von ohngefähr 50° F. (8° R.) befand, war die Schlagweite in der Boyle'schen Leere 6 mal so grofs, als in der Torricelli'schen Leere über dem Quecksilber. Diese letztere Erfahrung scheint mir indefs nicht unbedingt auf ein gröfseres Leitungsvermögen, der verdünnten Luft wie der Leere, für die E. hinzudeuten, denn es konnte die Leere vielmehr wegen ihres viel bessern Leitungsvermögens eine fortdauernde Ableitung, einen Durchgang der E. durch sich hindurch, veranlassen, und die zu einer gröfseren Schlagweite nöthige Spannung nicht gestatten, gerade so wie eine Flasche, die mit einer Spitze versehen ist, die das Ausströmen erleichtert, nie zu derselben Schlagweite geladen werden kann, wie dieselbe Flasche ohne Spitze. Damit würde denn auch die Erklärung der Abnahme der Lichterscheinung in der Leere sehr gut zusammenstimmen, indem el. Lichterscheinungen nur da zum Vorschein kommen, wo die E. in ihrer Fortbewegung Widerstand findet, welcher in der Leere gänzlich, oder so gut wie gänzlich fehlt (wegen der aufserordentlichen Dünnheit des Quecksilberdampfes bei der gewöhnlichen Temperatur), aber in der verdünnten Luft bereits statt findet. Indefs kann sich in dieser die E. bei derselben Spannung, wegen des relativ geringeren Widerstandes, doch auf gröfsere Entfernungen entladen, als in der Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit, und bildet dann mehr eine ausgebreitete Lichterscheinung, selbst wenn sie von stumpfen Körpern ausgeht, weil sie wegen des geringeren Widerstandes zugleich von mehreren

Puncten ausstrahlen kann. Uebrigens werden einige besondere Modificationen der el. Lichterscheinungen in der verdünnten Luft weiter unten, wo die Frage über zwei el. Materien zu erörtern ist, passender betrachtet werden, da man in dem über diese Frage herrschenden Streite sich vorzüglich auf sie berufen hat.

Bei der Mittheilung der E. an verschiedene Körper und bei ihrem, mit dieser Mittheilung verbundenen, Durchgange bringt dieselbe merkwürdige chemische Veränderungen hervor, die ich unter den Artikel *Elektrisirmaschine* und *Flasche, elektrische*, verweise, da sie nur durch Hülfe dieser beiden zu Stande gebracht werden können.

V. Elektrische Wirkungskreise und Vertheilung der Elektricität.

Die merkwürdigsten Erscheinungen der E., welche für die Naturforscher lange Zeit räthselhaft geblieben sind, hängen von den Gesetzen der *el. Wirkungskreise* ab, deren richtige Unterscheidung von den bisher angegebenen Gesetzen und Wirkungen der Mittheilung der Schlüssel zu allen Geheimnissen dieser Lehre ist, und selbst über den Vorgang der Mittheilung der E. erst die richtige Ansicht eröffnet.

Ein elektrisirter Körper nämlich wirkt auf andere Körper schon in Entfernungen, welche für die Mittheilung viel zu grofs sind. Der Raum, durch welchen sich diese Wirkung erstreckt, heifst sein *Wirkungskreis*, oder nach andern seine *el. Atmosphäre.* Das Hauptgesetz, nach welchem sich diese Verbreitung richtet, ist folgendes: *Jeder elektrisirte Körper hat das Bestreben, in denjenigen Körpern, welche in seinen Wirkungskreis kommen, eine der seinigen entgegengesetzte E. zu erwecken, und das Vermögen, das in einem Körper vorher bestandene el. Gleichgewicht, oder das 0 E. aufzuheben, gegen sich die der seinigen entgegengesetzte E. hinzuziehen, und die gleichnamige zurückzustofsen.*

Dieses Gesetz, welches unzählige Erfahrungen bestätigen, ist eine ganz neue Quelle von Wirkungen, die von den Wirkungen der Mittheilung sehr weit unterschieden sind. Man kann sie unter dem Namen: *Vertheilung* der E. zusammenfassen, und in gewissem Sinne der Mittheilung entgegensetzen.

Jener Name wird dadurch gerechtfertigt, daſs ein, durch Vertheilung el. gewordener Körper keine E. von Auſsen durch Mittheilung empfangen hat, sondern daſs nur seine eigene E. im Raume anders vertheilt ist, und dadurch nunmehr als nach Auſsen freithätige E. auftritt, da sie vorher, als 0, unwirksam nach Auſsen war. Die Erscheinungen der Vertheilung, obschon nach dem gleichen Gesetze erfolgend, fallen verschieden aus, je nachdem der Körper, auf welchen ein anderer elektrisirter durch seine Atmosphäre wirkt, ein Leiter oder Nichtleiter, und ersterer isolirt ist, oder mit dem Erdboden in Verbindung steht.

Der erstere Fall stellt diese Erscheinungen am deutlichsten und in ihrer gröſsten Mannigfaltigkeit dar, und man kann die dieselben darstellenden Versuche gleichsam die Fundamentalversuche der el. *Atmosphärenwirkung* nennen. Man nehme zwei el. Leiter, beide gehörig auf Glasfüſsen isolirt, A und B am besten von länglicher cylindrischer Form mit Halbkugeln an beiden Enden versehen. Die zu einer kleineren Elektrisirmaschine gehörigen Conductoren können sehr gut zu diesen Versuchen gebraucht werden. Der eine Leiter A sey elektrisirt, an dem andern befestige man mit weichem Wachs in verschiedenen Entfernungen mehrere Paare von kleinen, an leinenen Fäden hängenden Hollundermarkkügelchen, welche als Anzeiger der el. Vorgänge im Leiter B dienen. Operirt man mit schwächeren Graden von E., so kann man sich auch mehrerer Goldblattelektrometer bedienen, die an verschiedenen Stellen von vorne nach hinten mit dem Leiter B in Berührung gebracht werden können, um auf die oben schon angegebene Weise den Grad und die Art der E., welche an den verschiedenen Stellen des Leiters B auftritt, zu prüfen. Man nähere nun den mit + E. elektrisirten Leiter A dem Leiter B, und bringe ihn in die Lage, wie die Figur andeutet, so daſs ihre Entfernung von einander etwas gröſser ist, als die gröſste Entfernung, bei welcher ein Funken von A nach B noch übergehen würde; mit der Annäherung werden die Hollundermarkkügelchen aus einander gehen, und zwar die am vordern und hintern Ende bei der in der Figur angegebenen Einrichtung am stärksten, die in der Mitte weniger stark, vielleicht auch bei nicht starker Intensität der E. des Leiters A gar nicht. Prüft man dagegen die E. durch ein Goldblattelektrometer, das man mit dem Leiter B an verschiedenen Stellen in Verbindung bringt, nachdem schon die Annäherung des Leiters erfolgt ist, so wird

Fig. 30.

man die Divergenz der Goldblättchen von vorne nach hinten zunehmend finden. Um die Art der E. des Leiters an verschiedenen Stellen zu prüfen, kann man sich eines an einem mit Lack gesteiften Faden hängenden Hollundermarkkügelchens bedienen, das man mit den verschiedenen Stellen des Leiters B in Berührung bringt, uud dann einen andern an einem seidenen Faden hängenden Hollundermarkkügelchen nähert, dem man vorher + E. mitgetheilt hat[1]. Man wird finden, daſs letzteres von jenem abgestoſsen werden wird, mit welchem Puncte des Leiters B dasselbe auch in Berührung gebracht worden war, daſs es aber von dem hintern Ende V nach dem vordern R geführt immer schwächer und schwächer mit + E. geladen ist. Dasselbe werden auch die Goldblättchen der verschiedenen Goldblattelektrometer zeigen, die bei Annäherung einer geriebenen Glasröhre noch stärker divergiren werden. Es hat also nach diesen Versuchen den Anschein, daſs der Leiter B wirklich von dem Leiter A Elektricität empfangen habe, da er sich in der That in seiner ganzen Längen-Ausdehnung + el. zeigt, und dieser Anschein gewinnt noch dadurch, daſs die positive E. des Leiters A, so lange er in der Nähe des Leiters B sich befindet, durch Elektrometer geprüft, geschwächt erscheint. Daſs dies aber in der That sich nicht so verhalte, erfährt man sogleich durch einen zweiten Versuch. Man entferne nämlich nunmehr den Leiter B aus dem Wirkungskreise des Leiters A, in dem Augenblicke gehen alle Hollundermarkkügelchen zusammen, und bei gehöriger Entfernung sind auch die leisesten Spuren von E. in dem Leiter B gänzlich verschwunden. Untersucht man den Leiter A, dessen el. Spannung man vorher durch irgend ein genaues Elektroskop ausgemittelt hat, so wird man finden, daſs er von seiner eigenen E. nicht mehr (ja vielmehr noch etwas weniger wegen des mehr gebundenen Zustandes seiner E.) verloren hat, als er auch ohne dies durch die Berührung der Luft verloren haben würde.

Man bringe den Leiter B in die vorige Lage zurück, dieselben Erscheinungen erneuern sich; man berühre nun das vom Leiter abstehende Ende V des Leiters B mit dem Finger, man wird einen kleinen Funken erhalten, und jede Spur von freier E. wird in dem Leiter B verschwunden seyn, wie man auch

---

1 Noch besser gebraucht man zu diesem interessanten Versuche Bohnenberger's Elektrometer.

aus dem Zusammenfallen der vorhin von einander abstehenden Hollundermarkkügelchen erkennen kann. Entfernt man den Leiter B in diesem neuen Zustande von dem Leiter A, so werden, ganz anders wie im vorigen Falle, die sämmtlichen an ihm hängenden Hollundermarkkügelchen von neuem aus einander gehn, und zwar mit einer derjenigen des Leiters A entgegengesetzten E., also im vorliegenden Falle mit negativer E. Der elektrisirte Leiter A, in Rücksicht auf seinen el. Zustand untersucht, wird auch diesmal keinen andern Verlust zeigen, als den er auch ohnehin durch Berührung der Luft erlitten haben würde. Um das Zusammenfallen der Korkkügelchen, und also die Aufhebung der freien positiven E. des Leiters B, so lange er sich im Wirkungskreise des Leiters A befindet, zu bewirken, ist es übrigens nicht nöthig, gerade das abgekehrte Ende des Leiters B zu berühren, sondern die Berührung an jedem andern Orte wird denselben Erfolg haben, nur wird der Funken nach vorne immer kleiner ausfallen. Dies beweiset unter andern folgender von Röslin [1] angegebene Versuch, dessen Resultat er indefs mit Unrecht als einen Beweis gegen die Franklin'sche Theorie angesehen hat. Man schraube an das eine Ende eines auf einem Glasfufse isolirten cylindrischen Leiters, an dessen anderem Ende zwei Hollundermarkkügelchen hängen, eine ganz glatte und breite Metallplatte an, und nähere dieser eine geriebene, also + E. haltige Glasstange, so gehen die Kügelchen mit + E. aus einander. Berührt man nun die der Glasstange zugekehrte Fläche der Metallplatte mit einem Leiter z. B. dem Finger, so fallen sie eben so gut zusammen, wie wenn man das abgekehrte Ende unmittelbar berührt hätte; entfernt man zuerst die Finger und dann auch die Glasstange, so gehen die Hollundermarkkügelchen abermals, aber mit negativer E. aus einander, und der Leiter ist auf seiner ganzen Oberfläche negativ el. Röslin glaubt hierin einen Widerspruch mit der Franklin'schen Theorie zu finden, weil sich negative E., welche nach Franklin in einem Mangel besteht, einem Leiter von Aufsen nicht mittheilen lasse, aber die Franklin'sche Theorie ist zur Annahme einer solchen Mittheilung auf keine Weise genöthigt, sondern sie wird das Phänomen vielmehr durch Entziehung der freien positiven E. des

---

1 S. dessen kritische Prüfung und Berichtigung der bisherigen Elektricitätslehre 1823. S. 19.

durch Vertheilung el. gewordenen Leiters, die aus allen Puncten desselben, jedoch mit sehr verschiedener Intensität sich zu verlieren strebt, befriedigend erklären können. Ein ganz gleiches Phänomen (und insofern bedurfte es nicht erst dieses Versuches) zeigt sich auch beim Deckel des Harzkuchens eines Elektrophors, dessen durch die negative E. des Harzes zurückgetriebene negative E. nicht bloſs an der abgekehrten Fläche oder am Rande des Deckels, sondern selbst von der auf dem Harzkuchen unmittelbar aufruhenden Fläche abgeleitet oder nach Franklin mit E. von Auſsen ausgeglichen werden kann.

Einige Physiker, unter andern Parrot[1] haben eine ganz verfehlte Ansicht der Vertheilung aufgestellt, wenn sie den in der Atmosphäre des z. B. mit + E. elektrisirten Leiters A befindlichen Leiter B gleichsam als einen el. Magnet darstellen, dessen eine abgekehrte Hälfte freies + E., die andere zugekehrte Hälfte freies — E. habe, welche durch eine Sphäre von el. Differenz oder 0 E. in der Mitte von einander getrennt seyen, so daſs Hollundermarkkügelchen, die an verschiedenen Puncten des Leiters aufgehängt würden, in gleicher Entfernung von dieser Mitte gleich stark divergirten, jedoch mit entgegengesetzter E., an der dem + E. zugekehrten Hälfte nämlich mit negativer, an der abgekehrten Hälfte mit positiver E., daſs die in der Mitte angehängten Kügelchen ohne alle Divergenz seyen, und wenn man das abgekehrte Ende des Leiters mit dem Finger berühre, mit dem Aufhören der Divergenz der an ihm hängenden Kügelchen die der an der vordern Hälfte hängenden zunähme. Schon aus bloſsen Begriffen läſst sich die Unrichtigkeit dieser Ansicht einsehen, da ja das — E. am vordern Ende nur durch die stärkere Wirkung des Leiters A, in dessen Wirkungskreise sich B befindet, von seinem + E. getrennt worden ist, und getrennt gehalten wird, also auch eben so *vollkommen* gebunden seyn muſs, als es vorher gebunden war, und folglich auf keine Weise als freies — E. nach Auſsen wirken kann. Jeder Versuch kann aber auch zur Widerlegung dienen, welcher zeigen wird, daſs das Probekügelchen, mit welchem Puncte des Leiters B, ob an der vordern, nach Parrot negativ seyn sol-

1 S. unter andern dessen Entretiens sur la Physique Tome V. 1822. p. 28.

lenden, oder an der abgekehrten positiven Hälfte man es in Berührung bringt, stets *positiv* el. erscheinen wird. Aber freilich kann es sich ereignen, daſs die an der vordern Hälfte hängenden Korkkügelchen stärker divergiren werden, als die in der Mitte hängenden, weil die dem vordern Ende des Leiters B nähere positive E. des Leiters A mehr + E. in diese Korkkügelchen herabtreiben, und dieselbe in höherem Grade spannen wird, indem die — E., dieses vorderen Endes durch die + E. des genäherten Leiters A am meisten gebunden ist. Die richtige Ansicht eines in der Atmosphäre eines ± elektrisirten Leiters A befindlichen Leiters B ist vielmehr diese, daſs er von vorne nach hinten gleichzeitig ∓ el. ist, so zwar, daſs wenn A + E. hat, die — E. am vordern Ende am stärksten angehäuft ist, und abnehmend nach hinten, aber in ihrer ganzen Ausdehnung vollkommen gebunden, die + E. dagegen am stärksten angehäuft nach hinten, abnehmend nach vorne, aber in ihrer ganzen Ausdehnung frei ist, daher sie an jedem Puncte entzogen werden kann, während die — E. zurückgehalten bleibt. Dasselbe gilt nur mit verkehrten Zeichen, wenn der Leiter A — el. ist. Indeſs lassen sich doch durch eine eigenthümliche Art des Verfahrens die beiden Elektricitäten im Raume getrennt und doch jede für sich frei thätig darstellen, die noch weiter zur Erläuterung des ganzen Vorganges der Vertheilung dient. Dieser Versuch ist schon von Wilke angestellt worden. Man setze einen Metallcy-
Fig. 31. linder AB aus zwei von einander trennbaren Stücken AC und CB in C zusammen, und zwar so, daſs beide Theile isolirt mit einander in Berührung gebracht und auch wieder von einander getrennt werden können. Man setze sie in Berührung mit einander, und halte dem einen Theile AC eine geriebene, und also + E. haltige Glasröhre, oder auch einen mit + E. geladenen Leiter, wie im obigen Versuche, gegenüber, doch in hinlänglicher Entfernung, daſs kein wirklicher Uebergang von E. erfolgen kann. Während dieser Stellung ziehe man den zweiten Theil BC des Leiters ACB weg, entferne dann auch die Glasröhre oder den elektrisirten Leiter, und untersuche nun den el. Zustand der beiden Hälften AC und BC. Man wird dann AC negativ, BC positiv finden, so lange AC in der Nähe des elektrisirten Leiters sich befand. Wird indeſs die durch den genäherten elektrisirten Körper gebundene negative E. der vordern Hälfte mit der Entfernung desselben vor der Trennung

beider wieder frei, so kann sie mit der + E., die in der hintern Hälfte angehäuft war, wieder zu 0 zusammentreten.

Man hat es indeſs in seiner Gewalt, durch eine besondere Vorrichtung vermöge der Vertheilung beide Elektricitäten in einem Leiter im freien Zustande darzustellen, so daſs die zwei polaren Hälften durch eine Zone von Indifferenz oder 0 E. von einander getrennt sind. Einen interessanten Versuch dieser Art hat Remer bekannt gemacht[1]. Er bediente sich hierzu einer Cylindermaschine, deren Reibzeug mit einem gleichen isolirten Conductor verbunden war, wie der sogenannte erste oder positive Leiter. A ist der positive, B der negative Conductor, beide Fig. 32. isolirt; c und d sind geschärfte Drähte, welche auf die Conductoren gesteckt werden, und EF ist ein gebogener Draht, der isolirt über dem Cylinder der Maschine so aufgehängt ist, daſs das Ende E desselben von der Spitze c und das Ende F von der Spitze d nur 1,5 Zoll absteht. Wurde der Cylinder der Maschine in Bewegung gesetzt, so zeigte sich auf der Spitze d ein Strahlenpunct, an F ein Büschel, an E ein Punct, an c ein Büschel. Hieraus ergiebt sich also, daſs die beiden entgegengesetzten Enden des Drahtes EF mit freier entgegengesetzter E. auftraten, indem der Strahlenpunct an E auf *negative*, der Strahlenbüschel an F auf *positive* E. hinweiset. Aber nicht bloſs diese Endpuncte zeigen entgegengesetzte Elektricitäten, sondern auch die beiden Hälften des Drahtes; denn an seidenen Fäden hängende Hollundermarkkügelchen, positiv elektrisirt, wurden von allen Puncten der einen Hälfte von F nach I abgestoſsen, von allen Puncten der andern Hälfte angezogen, und umgekehrt verhielten sich negativ elektrisirte Hollundermarkkügelchen; nur von der mittlern Stelle in I wurden beide gleichmäſsig angezogen, was nur unter der Bedingung möglich war, daſs I, 0 E. hatte. Die Stelle des el. Indifferenzpunctes an dem Drahte konnte dadurch verändert werden, daſs man den positiven oder negativen Leiter mit dem Erdboden in Verbindung setzte. Wurde z. B. der negative Leiter B mit dem Erdboden verbunden, so war zwar in Ansehung der Lichterscheinungen an den Spitzen alles wie im vorigen Versuche, aber der Indifferenzpunct lag nun nicht mehr in I sondern der Draht war von F bis x positiv elektrisirt, von x bis E hingegen negativ, und der Indifferenzpunct lag in x.

---

1 Gilb. Annalen XVII. 15.

Als darauf der Conductor A mit dem Erdboden verbunden und B wieder isolirt wurde, so fand sich bei fortdauernden gleichen Lichterscheinungen der Draht zwischen E und y negativ, zwischen y und F positiv. Folglich war nun y der Indifferenzpunct geworden. Es ist zwischen diesen Phänomenen und den Phänomenen der gewöhnlichen Vertheilung, wo es nicht zur wirklichen Bewegung der E., zum Ausströmen kommt, der bemerkenswerthe Unterschied, daſs auch diejenige E., welche durch die ihr entgegengesetzte aus dem 0 entwickelt und angezogen wird, im ersteren Falle nicht gebunden ist, sondern mit freier Spannung auftritt, wovon der Grund in der eigenthümlichen Wirkung der Spitzen und in der dadurch eingeleiteten wirklichen Bewegung der Elektricitäten zu suchen ist[1].

Anders als bei den Leitern verhalten sich die Phänomene der Vertheilung bei den Nichtleitern. Ein Nichtleiter wird zwar an dem Ende, welches in den Wirkungskreis eines elektrisirten Körpers gebracht worden ist, ganz nach dem obigen Gesetze el. werden, aber dieses wird sich wegen des Widerstandes, den der Nichtleiter als solcher der Verbreitung der E. entgegensetzt, nur auf eine geringe Weite erstrecken und nicht sehr stark seyn. Weiterhin wird der Leiter abwechselnde Zonen von + E. und — E. erhalten, von denen stets die folgende durch den Wirkungskreis der vorhergehenden hervorgerufen worden ist. Eine lange Glasröhre z. B. gegen + E. gehalten, wird am nächsten Ende auf einige Zolle weit — E., dann einige Zolle weit + E., dann wieder — E. u. s. f. zeigen, welche Elektricitäten aber weiter hin immer schwächer werden und sich endlich ganz verlieren. Die nicht leitende Eigenschaft des Glases nämlich verhindert den wirklichen Uebergang, und so zeigen sich bloſs die Wirkungen der Atmosphären, welche abwechselnd sind, weil jede folgende Zone im Wirkungskreise der vorhergehenden liegt, und abnehmend, weil jede E., die aus der Ferne wirkt, eben darum nur eine kleinere Quantität, als sie selbst beträgt, aus dem 0 freimachen kann. Etwas ganz ähnliches bemerkt man auch bei der Magnetisirung eines längeren Stabes von Stahl, der gleichfalls ein Nichtleiter oder wenigstens schlechter Leiter des Magnetismus ist, durch einen Magnet, der mit seinem einen Pole bloſs an das Ende des Stabes gehalten wird. Auch hier

1 S. *Spitzen*.

zeigen sich längs dem Magnetstabe abwechselnde Schichten oder Zonen von nördlicher und südlicher Polarität, die abnehmend sind.

Bringt man in den Wirkungskreis eines elektrisirten Körpers einen andern schon elektrisirten, so werden sich gleichfalls Erscheinungen zeigen, die dem obigen Gesetze gemäſs sind. Wird der Körper mit der Erde verbunden, so wird er seinen Zustand dem Gesetze gemäſs ändern. Der Fall ist dann eigentlich gleich geltend mit dem obigen, da durch diese Verbindung mit der Erde jeder Körper aus dem ± Zustande in den 0 el. Zustand zurücktritt; ist er isolirt, so wird er seinen el. Zustand so weit ändern, als die Umstände es zulassen, und übrigens ihn noch mehr zu ändern fähig seyn. Bringt man z. B. + E. in den Wirkungskreis von — E., so wird die + E., wenn sie mit der Erde verbunden wird, nach Maſsgabe der Umstände sich mit — E. aus dem Erdboden zum Theil ausgleichen, oder unverändert bleiben, oder einen Zuwachs von + E. aus dem Erdboden erhalten, je nachdem im Verhältnisse der jedesmaligen Entfernung, aus welcher — E. wirkt, und ihrer ursprünglichen Intensität, sie entweder nicht im Stande ist, die vorhandene + E. vollkommen zu binden, oder gerade hinreichende Wirksamkeit hierzu hat, oder noch mehr + E. binden kann. Ist der Körper, an welchem sich + E. befindet, isolirt, so wird er fähig werden, mehr + E. anzunehmen und unfähiger, + E. zu verlieren oder mitzutheilen, d. h. mit andern Worten, der Körper wird unter diesen Umständen mehr Capacität für + E. und eine gröſsere Tenacität in Beziehung auf dasjenige, was sich bereits an ihm befindet, erhalten. Dies erklärt die Erscheinungen des *Collectors, Condensators, Duplicators, Multiplicators* [1]. Ist die E. des isolirten Körpers, welcher in den Wirkungskreis eines andern elektrisirten Körpers kömmt, gleichartig mit derjenigen des letztern, so verhält sich alles umgekehrt; seine E. wird an Spannung zunehmen, er wird unfähiger, neue von derselben Art aufzunehmen, fähiger sie zu verlieren, oder seine Capacität für dieselbe Art von E. welche er besitzt, ist vermindert.

Aus dem Gesagten erhellet nun auch von selbst, daſs jeder Mittheilung von E. Vertheilung vorangeht, und daſs sie, soferne hier die Theorie zweier Materien zum Grunde gelegt,

1 S. diese Artikel.

oder den beiden durch + und — bezeichneten Elektricitäten eine zweckmäſsige Wirksamkeit, jedoch eigenthümlich für jede zugeschrieben wird, nicht in einer bloſs einseitigen Einwirkung, sondern in einem wechselseitigen Geben und Empfangen besteht. Ehe zwei Körper, wovon der eine elektrisirt ist, und sich also in dem Falle der Mittheilung an den andern unelektrisirten befindet, einander so nahe kommen, daſs eine wirkliche Mittheilung oder Ausgleichung vorgeht, hat der elektrisirte Körper bereits durch Vertheilung in dem andern die der seinigen entgegengesetzte E. gegen sich gezogen, und die Verminderung, die er an E. erleidet, beruht daher nicht bloſs auf einem Uebergange eines Theils seiner E. an den andern Körper, sondern zugleich auf dem Uebergange jener entgegengesetzten E. zu ihm selbst, und davon abhängiger Ausgleichung eines verhältniſsmäſsigen Antheils zu 0, wodurch in jenem andern Körper, wenn er isolirt ist, ein verhältniſsmäſsiger Antheil der entgegengesetzten, und mit derjenigen des elektrisirten Körpers gleichnamigen E. freigeworden ist, die folglich eben so sicher seinen Zustand, nachdem es zur Ausgleichung gekommen ist, mitbestimmt, als denjenigen Theil, welchen er empfangen hat. Indeſs irren diejenigen, welche der Meinung sind, daſs alle E. welche ein solcher Körper nach dem Vorgange der Mittheilung, und also nach vollendeter Ausgleichung zeigt, lediglich aus seinem eigenen 0 hervorgegangen sey, denn nothwendig muſs die freie E. des el. Körpers, da sie die entgegengesetzte des nicht elektrisirten an Intensität übertrifft, den Zwischenraum, wenn es zu einer wirklichen Ausgleichung durch einen vorübergehenden Funken kommt, eher durchbrechen und folglich kann sie eben wegen ihrer gröſsern Intensität auch nicht durch den von ihr hervorgerufenen Gegensatz völlig ausgeglichen werden, und muſs demnach neben der ihr gleichnamigen E., die sie gleichzeitig aus jenem 0 frei gemacht hat, zugleich zu dem neu gewordenen el. Zustande jenes Körpers mit beitragen.

Aus dem Gesetze der Atmosphärenwirkung erklärt sich auch das Anziehen und Zurückstoſsen leichter Körper. Eine geriebene + E. haltige Glasröhre, leichten Körpern genähert, erweckt in ihnen, sobald sie in ihren Wirkungskreis kommen, — E., und dann ziehen beide einander an. Sobald diese Körperchen aber die Röhre berühren, erfolgt Mittheilung in dem eben angegebenen Sinne, die Körperchen haben + E. und die

Glasröhre stöſst sie zurück. So lange sie isolirt bleiben (wenn sie z. B. an einem seidenen Faden aufgehängt sind) behalten sie, wenigstens eine Zeitlang, ihre + E., und werden nicht wieder angezogen, sondern fortdauernd abgestoſsen. Sobald sie aber einen Leiter von hinlänglicher Gröſse berühren, z. B. auf den mit der Erde verbundenen Tisch zurückfallen, gleichen sie sich mit diesem aus, d. h. gehen auf 0 zurück; sind sie dann noch im Wirkungskreise der Glasröhre, so wird von neuem E. in ihnen hervorgerufen und zunächst dieses, mit demselben aber zugleich werden auch die Körperchen angezogen, und so erfolgt ein fortgesetztes Hin- und Hergehen, wodurch endlich die Glasröhre oder wenigstens eine Stelle derselben wieder in den 0 el. Zustand versetzt wird. Darauf gründen sich die Versuche mit *tanzenden Figuren* von Papier, oder um sie recht recht leicht zu machen, von Goldschlägerhaut, zwischen einer elektrisirten und einer mit der Erde verbundenen Metallplatte, wobei es gewöhnlich nicht bis zur Berührung jener elektrisirten kommt, weil die Puppen wegen ihrer zugespitzten Gestalt ihre entgegengesetzte E. schon aus einiger Entfernung abgeben; ferner der Versuch mit der *Flaumfeder*, die zwischen einer geriebenen Glasröhre und Siegellackstange wie ein Federball hin und her fliegt; mit den *Kork-* oder *Hollundermarkkügelchen*, die auf dem Tische unter einer elektrisirten Glocke auf- und abtanzen, und wenn sie von groſser Anzahl und von hinlänglicher Kleinheit sind, (noch besser Schnitzelchen von Goldpapier) durch ihr Geräusch bei dieser Hin- und Herbewegung den sogenannten *el. Regen* darstellen.

Bemerkenswerth ist bei diesem zuletzt erwähnten el. Spielwerke, daſs wenn die Kügelchen nicht mehr in die Höhe springen, sondern alles ruhig geworden ist, man den Tanz erneuern kann, wenn man die Glocke von auſsen mit der Hand umspannt, und zwar zu wiederholtenmalen, was sich aus den Gesetzen der Ladungsflasche erklärt, mit welcher eine solche Glocke zu vergleichen ist, deren innere Wandung man durch das Ausströmen einer Spitze elektrisirt hat, während man sie von Auſsen mit der Hand umfaſst hält.

Aus dem Gesetze der Vertheilung erklären sich auch die Resultate der Versuche und Beobachtungen, welche Heller[1]

1 S. Gren's neues Journal der Physik II. 397.

über den Einfluſs des verschiedenen hygrometrischen Zustandes der Luft auf gewisse el. Erscheinungen gemacht hat. Der Apparat zu diesen Versuchen bestand in einem auf einem verticalen Glasfuſse horizontal liegenden isolirten Messingstäbchen, das an beiden Enden mit Knöpfen versehen war. An einem dieser Knöpfe hängen an leinenen Fäden zwei Hollundermarkkügelchen herab. Zur Prüfung der E., mit welcher in den angestellten Versuchen die Hollundermarkkügelchen divergirten, bediente er sich nach der bekannten Weise einer geriebenen Glasröhre oder Siegellackstange. Die Feuchtigkeit der Luft maſs er durch ein Federkielhygrometer. Berührte er dann das Messingstäbchen in seiner Mitte mit der geriebenen Glasröhre, so divergirten die Fäden, fielen aber auch kurz darauf wieder zusammen. Als hierauf die Glasröhre von dem Stäbchen entfernt wurde, divergirten die Fäden zum zweitenmale. Diese beiden Divaricationen hingen von entgegengesetzten Elektricitäten ab, die erstere von positiver E., die zweite von negativer. Dieses erklärt sich nach dem Gesetze der Vertheilung so, daſs die Glasstange nach der Mitte, wo sie die Messingstange berührte — E. hinzog, und nach den beiden Enden + E. zurücktrieb, die die Hollundermarkkügelchen an dem einen Ende zur Divergenz brachte, sich aber auch in die Luft zerstreute, weswegen die Kügelchen wieder zusammenfielen, während die negative E. gebunden durch die positive der Glasröhre sich nicht zerstreuen, aber auch nicht an die Glasröhre übergehen konnte, wegen der wenigen Berührungspuncte mit dem Glase und der Hindernisse, die das Glas durch seine nichtleitende Eigenschaft und seine glatte Oberfläche diesem Uebergange entgegensetzte, weswegen dann nach Entfernung der Glasröhre diese negative E. in den freien Zustand überging, und da die + E. der 0, aus dem sie angezogen worden war, sich inzwischen zerstreuet hatte, nicht wieder zu 0 gebunden werden konnte, und eine zweite Divarication der Hollundermarkkügelchen bewirkte. Das Interessante bei diesen Versuchen war nun, daſs es lediglich auf den hygrometrischen Zustand der Luft ankam, ob nur die eine oder beide Divergenzen eintraten, und ob die erste oder die zweite die gröſsere war. Bei sehr trockener Luft, wie sie schon bei 45° seines Hygrometers statt fand, und noch gewisser bei höheren Graden desselben fand keine zweite Divarication statt, sondern nur eine erste, und diese war dauernd und groſs. Dieses

erklärt sich daraus, dafs in diesem Falle in der kurzen Zeit des Versuchs die freigemachte E. sich nicht zerstreuen konnte, und folglich nach Entfernung der Glasröhre oder Siegellackstange seinen inzwischen gebundenen Gegensatz wieder zu 0 ausglich, weswegen die Kügelchen nicht zum zweitenmale aus einander gehen konnten. Bei 40° bis gegen 26° des Hygrometers (also bei zunehmender Feuchtigkeit) wechselten die eine und die zwei Divaricationen ab, letztere wurden immer häufiger, je tiefer der Grad wurde. Endlich bei einer Feuchtigkeit unter 20° war weder die erste noch die zweite Divarication zu sehen, sondern die E. zerstreute sich augenblicklich. In der Epoche der Divaricationen war es angenehm zu bemerken, wie die Gröfse der zweiten Divarication mit der Anzeige des Hygrometers correspondirend war, nämlich wenn die zweite Divarication zu einer Stunde des Tages gröfser als zu einer andern war, so hatte die Feuchtigkeit der Luft zugenommen, und umgekehrt. Durch eine kleine Uebung brachte Heller es dahin, diese Zunahme der Feuchtigkeit blofs aus der Beobachtung der Gröfse der zweiten Divarication mit Gewifsheit vorauszusagen, so dafs dieser so einfache Apparat wenigstens für die Epoche der zwei Divaricationen ihm statt eines Hygrometers diente. Nach der oben zum Grunde gelegten Erklärung ist es begreiflich, dafs, so wie die Feuchtigkeit der Luft zunahm, die Epoche der zwei Divaricationen eintreten mufste, weil nun während des auch ganz kurzen Anhaltens der Glasröhre ein Theil der + E. sich durch die feuchte Luft zerstreuen mufste, und folglich bei Entfernung der Glasröhre die durch dieselbe gebunden gehaltene — E. nicht vollkommen zu 0 gebunden werden konnte, sondern zum Theil zu überwiegend bleiben mufste. Eben so begreiflich ist es, wie die zu einer Zeit verhältnifsmäfsig gröfsere zweite Divarication als zu einer andern Zeit für jene erstere eine gröfsere Feuchtigkeit anzeigen mufste, weil eben darum in der gleichen Zeit sich mehr von der + E. zerstreuen, und also von der gebunden gewesenen — E. ein verhältnifsmäfsig gröfserer Theil als frei auftreten mufste[1].

So einfach die Gesetze der E. sind, so mannigfaltig werden doch ihre Anwendungen durch die fast unzähligen einzelnen Fälle

1 Aus dieser Darstellung ergiebt sich, dafs hierbei von einer wenigen Divarication, welche Fischer phys. Wört. VI. 267. hineinbringt, nicht die Rede seyn kann.

die sich daraus erklären lassen. Es ist sehr bequem, sich über Ausdrücke zu vergleichen, mit welchen man das, was in jedem einzelnen Falle vorgeht, verständlich und übereinstimmend bezeichnen könne. Aus diesem Grunde sollen hier die wenigen Fundamentalgesetze der E. in der Sprache angeführt werden, in welcher sich die neueren Physiker über dieselben ausdrücken. Wie weit diese Sprache, diese angenommenen Zeichen, die nur dadurch unzweideutig sind, daſs sie als bloſse Formeln oder Gleichnisse für bestimmte sichere Erfahrungen gelten sollen, richtig gewählt sind, wie weit sie das Wesen der Erscheinungen selbst gehörig darstellen, darüber wird erst weiter unten in der Untersuchung der Ursache dieser Erscheinungen entschieden werden können.

VI. Uebersicht der Gesetze der Elektricität.

Man nenne eines Körpers Elektricität überhaupt E.; im natürlichen Zustande, wo er keine el. Erscheinungen zeigt, ist dieses $E = 0$, was gleichbedeutend mit *el. Indifferenz* ist.

Da es aber, wie schon oben im Allgemeinen gezeigt worden, zwei verschiedene Elektricitäten giebt, die sich gegen einander wie entgegengesetzte Gröſsen verhalten, oder deren jede für sich ähnliche Wirkungen zeigt, eine aber die andere aufhebt, so nenne man diejenige, welche das geriebene Glas zeigt, und jede andere mit derselben specifisch gleichartige, + E., die ihr entgegengesetzte, welche die geriebene Siegellackstange zeigt, und jede andere mit ihr specifisch gleichartige — E. Man betrachte ferner den natürlichen Zustand der Körper, in welchem sie keine el. Erscheinungen zeigen, als $+E - E = 0$, d. h. man schreibe jedem Körper, der keine el. Erscheinungen zeigt, eben soviel + E. als — E. zu, die sich beide völlig aufheben, wechselseitig binden und im Gleichgewichte halten. So ist der Zustand eines elektrisirten Körpers nichts anders als *Aufhebung der Gleichheit der beiden E., oder Störung des Gleichgewichts.* Zu dieser Annahme ist man dadurch berechtigt, daſs gleiche Mengen von freiem + E. und — E. gemessen durch das Product der mittleren Spannung in die Oberfläche, an welcher sie sich befinden, mit einander stets 0 geben, und aus dem natürlichen Zustande oder dem 0 E. in allen Fällen, wo E. freithätig wird, beide Elektricitäten zugleich hervortreten, und zwar gerade in dem Verhältnisse um wieder 0 E zu geben.

Gleichartige Elektricitäten stofsen sich zurück, entgegengesetzte ziehen sich an; die Weite, auf welche sich dieses ringsum erstreckt, macht den Wirkungskreis einer E. aus. Die + E., oder der Theil der + E., der auf Anziehung seines Gegensatzes verwendet, und von diesem nach dem Gesetze der Gegenwirkung wieder angezogen wird, kann natürlich nichts weiter bewirken. Man nennt ihn *gebunden.* Hört das Anziehen auf, so sagt man, er werde frei oder sensibel, er wird nämlich nun fähig nach Aufsen zu wirken, und sich durch anderweitige von ihm abhängige Anziehungs- oder Repulsionserscheinungen zu offenbaren.

Im natürlichen Zustande binden sich beide Elektricitäten des Körpers völlig; durch das Reiben u. dgl. wird das Gleichgewicht gestört. Immer treten hierbei die gegen einander wirkenden Körper in den entgegengesetzten el. Zustand. Es sind dann drei Fälle möglich. Wird z. B. eine Glaskugel durch Reiben mit einem angemessenen Reibzeuge +, dieses — el., so kann dieses entweder daher rühren, dafs das Glas + E. aus dem Reibzeuge, oder dieses — E. aus dem Glase anzieht, oder beide Processe gleichzeitig statt finden. (Auf einen etwa hierbei wirksamen chemischen Procefs durch die Concurrenz der Luft und die Herkunft der E. aus dieser, nehmen wir hier keine weitere Rücksicht, werden aber weiter unten die Grundlosigkeit einer solchen Annahme nachweisen). Auf welche Weise nun auch das Reibzeug — el. geworden ist, so wird dieser Procefs sehr bald eine gewisse Grenze haben, weil jeder Körper seiner Natur nach nur ein endlicher Quell von E. seyn kann. Das Reibzeug wird also nur bis auf einen gewissen Punct — E. annehmen, und nur indem seine — E. durch eine leitende Verbindung mit dem Erdboden neue + E. anzieht, wird der Procefs fortdauernd erhalten werden können, wenn nicht etwa die Körper während des Vorgangs selbst ihre Natur verändern. Fand im obigen Falle ein Uebergang von + E. des Reibzeugs zum Glase statt, so wird dasselbe dadurch von neuem befähigt, + E. abzugeben, fand dagegen ein Uebergang der — E. vom Glase an das Reibzeug statt, so wird dieses aus dem neugebildeten 0 abermals + E. anziehen und an das Reibzeug — E. absetzen können.

Hat ein Körper mehr + als — E., so zieht seine freie + E. innerhalb seines Wirkungskreises alle — E. an, und stöfst alle

+ E. zurück, desto stärker, je näher sie ihm kommt. Bringt man also in diesen Wirkungskreis einen isolirten Leiter, so wird dessen — E. an den näheren Theil gezogen, und gebunden, die + E. hingegen in den entfernteren Theil zurückgestofsen und frei, weil sie von der — E., von der sie vorher gebunden war, verlassen ist, und von dem Uebergewichte der Repulsivkraft der + E. zurückgestofsen wird. Diese freie + E. würde herausgehen, oder sich mit — E. sättigen, wenn ihr nicht durch Isolirung der Weg zu beidem abgeschnitten wäre. Wird aber eine leitende Verbindung mit dem Erdboden gemacht, so zieht die + E. soviel — E. an, als erforderlich ist, um wieder 0 zu werden, der Leiter zeigt weiter keine el. Erscheinungen. Hebt man die Verbindung wieder auf, und entfernt ihn aus dem Wirkungskreise der + E., so wird die vorher gebunden gewesene — E. frei oder sensibel, da sie die + E., durch die sie vorher gebunden war, nicht mehr als + E. sondern als 0 vorfindet.

Hat ein Körper mehr — E. als + E., so zieht seine freie — E. alle + E. in seinem Wirkungskreise an, und stöfst alle — E. zurück. Bringt man also einen isolirten Leiter gegen ihn, so erfolgt alles, wie vorher gezeigt ist, nur mit Verwechselung der Zeichen + und —. Man sieht hieraus, dafs das *Gesetz der Wirkungskreise* nichts anderes ist, als das *Gesetz der Anziehung ungleichnamiger und der Zurückstofsung gleichnamiger Elektricitäten*, und dafs diejenigen, welche zwei el. Materien annehmen, die durch wechselseitige Anziehung auf einander wirken, und das 0 oder den natürlichen Zustand als den Zustand des Gleichgewichts beider Elektricitäten mit einander betrachten, eine ganz falsche Ansicht zum Grunde legen, wenn sie in ihre Erklärungen noch eine besondere Anziehung der Körper selbst zur E. aufnehmen. Von einer solchen Anziehung zeigt sich wenigstens in den gewöhnlichen el. Versuchen durchaus keine Spur, da die elektrisirten Körper in Beziehung auf andere, und diese wieder wechselseitig auf jene sich ganz gleichförmig verhalten, von welcher Beschaffenheit sie übrigens seyn mögen, auch die Masse der Körper hierbei nicht im geringsten in Betracht kommt, aufser insoferne sie als Widerstand gegen die wirkliche Bewegung durch Trägheit und Schwere die Erscheinungen modificirt. Selbst das verschiedene Leitungsvermögen der Körper für E. ändert unmittelbar nichts in der freien Wirksamkeit der an ihnen thä-

tigen E., soferne diese auf das 0, auf + oder — E. anderer Körper wirkt.

Wie in Folge der Anziehung, welche die freie E. auf ihren Gegensatz ausübt, jene selbst wieder gebunden wird, wie bei der freien Communication eines Leiters, auf welchen ein elektrisirter Körper wirkt, mit dem Erdboden jene Bindung zunimmt, wie in Folge dieser Bindung die Capacität der Körper für E. und die Tenacität, womit sie eine gegebene Menge von E. zurückhalten, erhöht wird, ist bereits an mehreren Orten, sowohl in diesem Artikel, als in dem Artikel *Condensator* in seinem nothwendigen Zusammenhange mit dem allgemeinen Gesetze der Anziehung und Zurückstofsung hinlänglich klar gemacht worden.

Nach welchen Gesetzen die Annäherung eines noch in seinem natürlichen Zustande befindlichen, mit dem Erdboden in leitender Verbindung stehenden, Körpers, auf die Bindung der freien E. eines elektrisirten Körpers wirke, steht mit der Frage, wie die Wirksamkeit der E. mit der Entfernung, auf welche sie wirkt, abnehme, in der genauesten Verbindung, oder fällt vielmehr ganz damit zusammen. Hat man das Gesetz für die Abnahme der repulsiven Kraft der E. im Verhältnisse der Entfernung bestimmt, so ist auch das gleiche Gesetz für ihre anziehende Kraft ausgemittelt, da beide stets gleichen Schritt mit einander halten. Soferne auf dieser Besitmmung die ganze *Elektrometrie* beruht, so wird es am passendsten seyn, dieses Gesetz dort genauer zu erörtern.

Indem die wechselseitige Anziehung der entgegengesetzten Elektricitäten mit der wechselseitigen Annäherung zunimmt, tritt endlich eine gewisse Weite ein, wo sie stark genug wird, das isolirende Mittel, das beide aus einander hält, z. B. die Luft, zu durchbrechen, und einen wirklichen Uebergang der E. zu veranlassen. Alsdann erfolgt wirkliche *Mittheilung*, wobei der ursprünglich elektrisirte Körper, von welchem der Procefs ausging, stets einen Theil seiner ± E. an den andern abgiebt.

Die Weite, bei welcher dieser Uebergang geschieht, ist bei Spitzen sehr grofs, bei stumpfen oder rund geendeten Körpern kleiner, bei platten Flächen erfolgt oft, selbst im Falle der Berührung, kein Uebergang, wenn auch selbst die eine Fläche dem besten Leiter zugehört. Auch erfolgt bei Spitzen

der Uebergang durch Ausströmen, bei stumpf geendeten Körpern hingegen durch den Ausbruch eines Funkens. Dieser merkwürdige Unterschied des Verhaltens der Körper nach Verschiedenheit der Gestalt ihrer Oberfläche, ihre E. leichter oder schwieriger abzugeben, hängt im Allgemeinen von der Verschiedenheit ab, mit welcher die an der Oberfläche dieser verschiedenen Leiter verbreiteten Elektricitäten in den verschiedenen Puncten derselben durch ihre repulsiven Kräfte auf einander wirken, und durch welche sie sich in dem Uebergange zu den in ihren Wirkungskreisen befindlichen Körpern entweder begünstigen, und für einzelne Puncte eine erhöhte Anhäufung, Drang oder Spannung der E. veranlassen, wodurch der Widerstand der Luft, der eigentlich das Haupthindernifs ausmacht, leichter überwunden werden kann, oder aber im entgegengesetzten Sinne wirken [1].

Wenn glatte Flächen, deren eine + E., die andere gleichviel — E. hat, in Berührung kommen, ohne dafs ein Uebergang erfolgt, so zeigen sie in diesem Falle gar keine freie E. Trennt man sie aber wieder von einander, so erhalten sie ihre vorigen Elektricitäten wieder. Der Pater Beccaria [2] glaubte, sie legten ihre Elektricitäten an einander ab, und bei der Trennung ergriffe jede Fläche die ihrige wieder. Er gab diesem Gesetze den Namen: der sich selbst wieder herstellenden E. (electricitas vindex, quasi quae sibi vindicat locum suum.) Man hat aber dieses Phänomens wegen nicht nöthig, ein neues Gesetz anzunehmen. Dieses Verschwinden der Elektricitäten ist kein Verlust derselben, kein Ablegen und Wiederergreifen. Es ist nichts weiter als das gewöhnliche Binden entgegengesetzter Elektricitäten, wenn eine in der andern Wirkungskreis kommt, wodurch ihre Intensität geschwächt, und in der unmittelbaren Berührung bei Gleichheit derselben vollkommen aufgehoben wird. Nach der Trennung wird alles wieder sensibel, weil kein Uebergang erfolgt ist. Das Nichterfolgen des Ueberganges hat in den meisten Fällen seinen Grund in der dünnen Luftschicht, die nicht ganz ausgeschlossen werden kann, und unter den aus der Glätte und dem Parallelismus der Oberflächen

---

1 S. *Spitzen.*

2 Elettricismo artificiale P. II Sect. VI. vergl Exp. atque observ. quibus electricitas Vindex late construitur. Aug. Taur. 1769. 4.

beider Körper für den Uebergang überhaupt entstehenden ungünstigen Umständen bei schwächerer E. einen hinlänglichen Widerstand leistet, weswegen dann auch die wechselseitige Bindung keine vollkommene ist, aber der Rest von freier Spannung kann wegen der noch nicht hinlänglich grofsen Empfindlichkeit unserer Elektroskope nicht erkannt werden.

Die Wirkungen der el. Anziehung und Zurückstofsung oder der el. Atmosphären werden durch *dünne solide Nichtleiter nicht aufgehoben,* wohl aber die Wirkungen der Mittheilung. Wenn daher eine Glastafel auf beiden Seiten mit Metall belegt, die eine Belegung mit der Erde verbunden, und der andern + E. zugeführt wird, so nimmt jene verhältnifsmäfsige — E. aus der Erde an oder giebt + E. an dieselbe ab. Hieraus erklärt sich die *Ladung* [1]. Macht man alsdann zwischen beiden Seiten eine leitende Verbindung, so erfolgt ein Uebergang, der das Gleichgewicht herstellt. Dies ist die Entladung oder der *Leidner Versuch.*

VII. Geschichte der Elektricität.

Die Anziehung leichter Körper ist unter allen übrigen el. Erscheinungen zuerst bemerkt worden. THALES [2] soll sie gekannt, und dem Körper, in welchem dasselbe zuerst erkannt wurde, eine Seele zugeschrieben haben. THEOPHRAST von Eresus [3], 300 J. vor C. G. führt an, dafs nicht blofs der Bernstein, sondern auch der Lynkurer (λυγκούριον) diese Eigenschaft besitze, und dafs letzterer nicht blofs Strohhalme und Holzspähne, sondern auch Metallblättchen an sich reifse. WATSON hat den Lynkurer des Theophrat für den Turmalin erklärt, aber mit Unrecht; da die Alten und namentlich Theophrast unter ihrem Lynkurer unsern Hyancith verstanden [4]. Auch PLINIUS [5] STRABO [6] und PLUTARCH [7] gedenken dieser anzie-

1 S. *Flasche, geladene.*

2 S. den Anfang dieses Artikels.

3 *περὶ λίθων* c. 53.

4 S. Hills Commentar über Theophrast's Abhandlung von Steinen. Aus dem Englischen übersetzt und mit Anmerkungen von Baumgärtner, Nürnberg 1770.

5 Hist. Nat. XXXVII. 3.

6 Geograph. L. XV. T. II. c. 100.

7 Sympos. I. 7.

henden Eigenschaft des Bernsteins. Nach einigen sollen auch die el. Eigenschaften des Gagats sehr frühe bekannt geworden seyn. William Gilbert [1] war der erste der seit den Zeiten der Alten etwas Neues hinzufügte. Er vermehrte das Verzeichniſs der Körper, welche el. Erscheinungen zeigen, sehr ansehnlich, brachte vornehmlich das Glas, die meisten Edelsteine, den Schwefel und das Siegellack zu denselben, und zeigte das Reiben als das Mittel an, ihre E. zu erregen. Für ihn fielen indeſs die el. Anziehungserscheinungen mit den magnetischen noch in eine Classe zusammen, und es ist charakteristisch, auch für diesen Theil der Geschichte der Wissenschaften, daſs dieselbe Einheit auf ihrer höhern Entwicklungsstufe wieder zurückkehrt, die die Periode ihrer Kindheit bezeichnet. Otto von Guericke [2] stellte Versuche mit einer geriebenen Schwefelkugel an. Er bemerkte, daſs ein von ihr angezogener Körper wieder zurückgestoſsen, und nicht eher wieder angezogen ward, als bis er sich einem leinenen Faden oder der Lichtflamme (einem Leiter) genähert hatte, daſs Fäden, die in der Nähe der Schwefel-Kugel hingen von seinem nahe daran gehaltenen Finger zurückgestoſsen wurden, und daſs eine von der Kugel zurückgestoſsene Flaumfeder der Kugel beständig einerlei Seite zukehrte; Erscheinungen, welche nachher auf die Gesetze des Anziehens und der Wirkungskreise geführt haben. Er bemerkte auch das el. Licht und das Geräusch desselben. Boyle vermehrte um das Jahr 1670 das Verzeichniſs der el. Körper mit einigen neuen, fand, daſs Trockenheit und Wärme der E. günstig seyen, daſs auch leichte el. Körper z. B. Bernsteinpulver angezogen würden, daſs das Anziehen wechselseitig sey, daſs der geriebene Diamant im Finstern leuchte, und daſs man auch im luftleeren Raume E. erwecken könne. Er erklärte übrigens die el. Erscheinungen durch klebrige Ausflüsse. Auch Newton [3] machte einige el. Vesuche. Er rieb eine Glasplatte, die auf einem messingenen Ringe auf dem Tische ruhete, ohne den Tisch zu berühren, auf ihrer oberen Fläche, und sah darunter liegende Papierchen gegen die untere Seite hüpfen. Dieſs ist wohl das erste Beispiel von einer Ladung. Er ward auch gewahr, daſs die Wahl des Reib-

---

1 de Magnete London 1600. fol.

2 Experim. Magdeburg. de vacuo spatio, Amsterd. 1672 fol. L. IV. c. 15.

3 Philos. Transact. 1675.

zeugs nicht gleichgültig sey, weil der Versuch besser gelang, wenn er mit seinem Rocke (Wollenzeug) als wenn er mit einer Serviette rieb. Er erwähnt auch der E. in seinen, der Optik beigefügten Fragen. Dr. WALL[1] bemerkte zuerst el. Funken. Er hatte eine Hypothese über den Phosphor, die ihn auf die Vermuthung leitete, daſs Bernstein ein natürlicher Phosphor seyn dürfte. Er rieb also Bernstein mit der Hand oder mit wollenen Lappen, sah dabei ein starkes Licht und hörte ein Knistern. Hielt man den Finger gegen den Bernstein, so fuhr ein heller Funken gegen denselben. Er bemerkte auch Licht beim Reiben des Siegellacks und Diamants, und zog daraus den Satz, daſs alle geriebene el. Körper leuchteten. Es ist merkwürdig, daſs er schon bei dieser ersten Entdeckung des Funkens und Knisterns diese Erscheinungen mit dem Blitze und Donner verglichen hat. Dies sind die geringen und langsamen Fortschritte der el. Versuche bis zum Jahre 1709. In diesem Jahre machte HAWKSBEE[2] seine Versuche und Entdkkungen bekannt. Er machte zuerst aufmerksam auf die groſse el. Kraft des Glases, welchem man seitdem den Vorzug vor allen übrigen el. Körpern beigelegt hat. Er beobachtete die Erscheinungen des el. Lichtes, besonders im luftleeren Raume, genauer, erfand die Quecksilberphosphore, bemerkte das Geräusch des el. Ausströmens, und das Gefühl von Spinnewebe, das sich bei starker E. äuſsert, stellte auch Versuche mit Siegellack, Schwefel, und Harzkuchen an, ob er gleich darin irrte, daſs er die E. derselben mit der des Glases für einerlei hielt. Er hat sich auch zuerst einer Maschine zur Umdrehung der Glaskugel bedient, obwohl nach ihm noch einige Zeit nur Röhren gebraucht, und die Elektrisirmaschinen erst später eingeführt worden sind.

Zu jener Zeit beschäftigten NEWTON's groſse Entdeckungen die Physiker mit andern Gegenständen, und veranlaſsten in den el. Untersuchungen einen zwanzigjährigen Stillstand, bis STEPHAN GRAY vom Jahr 1728 bis 1731 dieselben auf's Neue mit wichtigen Zusätzen bereicherte. Dieser um die Lehre von der E. sehr verdiente Engländer entdeckte die Mittheilung, fand daſs hänfene Schnüre sie zulieſsen, seidene oder härene aber

---

1 Philos. Transact. 1708. Vol. XXVI, No. 314.
2 Physico - mechanical experiments. London 4.

hidenrten, und wurde durch einen Zufall auf die Entdeckung des für die Ausbildung der Elektricitätslehre so wichtigen Unterschiedes zwischen Leitern und Zerstreuern der E. und Nichtleitern oder Isolatoren geführt. Als GRAY nämlich im Jahre 1729 seinem Freunde WHEELER, seinem Gehülfen bei den meisten seiner Versuche, die Entdeckung mittheilte, wie durch hänfene Schnüre, welche an die Glasröhren befestigt waren, beim Reiben derselben dis E. an elfenbeinernen Kugeln, die an diesen Schnüren hingen, selbst bei grofser Länge derselben, wenn sie frei durch die Luft herabhingen, mitgetheilt werden könne, war WHEELER begierig, zu untersuchen, ob nicht etwa die el. Kraft auf eine grofse Distanz auch horizontal fortgeleitet werden könne. GRAY hatte diesen Versuch bereits vergeblich angestellt, weil er sich zur Unterstützung der Schnur, welche die elfenbeinerne Kugel mit der geriebenen Glasröhre in Verbindung setzte, eines Bindfadens bedient hatte. WHEELER schlug einen seidenem Faden vor, von dem auch GRAY in Ansehung seiner Dünne einen bessern Erfolg erwartete. Der Versuch gelang auch über alle Erwartung. Er wurde den 2ten Juli 1729 angestellt. Ohngefähr 4 Fufs von dem Ende der mit Matten belegten Gallerie zogen sie eine Schnur quer über den Platz hinweg, der mittlere Theil der Schnur war Seide, das übrige Bindfaden, dann legten sie die Schnur, woran die elfenbeinerne Kugel hing, und durch welche die el. Kraft zu derselben von der Glasröhre geleitet werden sollte, und welche 80½ Fufs lang war, quer über die seidene Schnur, so dafs die Kugel ungefähr 9 Fufs unter derselben hing. Beim Reiben der Glasröhre zog nun die elfenbeinerne Kugel leichte Körperchen aus der Ferne an. Indem sie die Versuche in Rücksicht auf Verlängerung der die E. mittheilenden Schnur noch weiter treiben wollten, brach der feine seidene Faden. Sie substituirten ihm nun einen nicht weniger dünnen Messingdraht. Aber nun blieb aller Erfolg aus. Sie hatten damit die Ueberzeugung gewonnen, dafs es nicht von der Dünne abhänge, warum der seidene Faden die E. nicht wie der dickere Bindfaden zerstreut habe, da der Metalldraht trotz seiner Feinheit dies noch in höherem Grade that, als selbst der dickere Bindfaden, sondern dafs hierbei die eigenthümliche Natur der Körper in Betracht komme. Wir haben absichtlich diesen Versuch umständlicher erzählt, weil er einen neuen Beleg giebt, wie so oft an wich-

tigen Entdeckungen ein glücklicher Zufall einen wesentlichen Antheil hat, wie er aber auch diesen Antheil nur dadurch erhält, daſs der Scharfsinn des Experimentators ihn zu benutzen und mit seinen Forschungen zu verknüpfen weiſs. Gray machte auch die ersten Versuche, Wasser, ingleichen Menschen und Thiere durch Mittheilung zu elektrisiren. Da er hierbei die Personen in seidene Schnüre hing, und sah, daſs sie den Metallen ziemlich starke Funken gaben, so kam er darauf, metallene Cylinder in seidene Schnüre zu hängen, und die Funken von Personen herausziehen zu lassen, welches der erste Ursprung des Hauptleiters oder ersten Leiters bei den Elektrisirmaschinen gewesen ist. Er bemerkte zuerst das freiwillige Ausströmen der Feuerbüschel aus leitenden Spitzen, wenn ihnen die flache Hand genähert ward, ingleichen, daſs selbst aus dem Wasser Funken hervorbrachen.

Dieser Versuch brachte auch bei ihm im Jahre 1734 den Gedanken hervor, daſs „*die el. Kraft*, si magnis licet comparare parva, *mit der Natur des Donners und Blitzes von gleicher Natur zu seyn scheine.*" Bei einem ähnlichen Versuche im folgenden Jahre hat er, wie Beckmann [1] bemerkt, schon die el. Erschütterung gefühlt, ohne jedoch weiter darüber nachzudenken.

Grays Versuche wurden in Frankreich von Dü Fay [2] sorgfältig wiederholt, und mit neuen vermehrt. Dieser Naturforscher trieb die Wirkungen der Mittheilung viel weiter, und bestimmte sie genauer. Er zog noch eher als Gray selbst, Funken aus dem menschlichen Körper, da jener damals erst so weit genommen war, Metallblättchen durch denselben anziehen zu lassen. Nollet, welcher bei diesen Versuchen gegenwärtig war, kann die Bestürzung nicht stark genug schildern, die sowohl ihm als Dü Fay bei den ersten el. Funken, die aus dem Körper dieses Letzteren gezogen wurden, ergriff[3]. Dü Fay entdeckte, was unstreitig einer der gröſsten Schritte in der Elektricitätslehre war, den Unterschied zwischen den beiden Elektricitäten, die er Glas- und Harz-E. nannte, nebst dem Gesetze ihrer wechselseitigen Anziehung, irrte aber darin, daſs

---

1 Geschichte der Erfindungen I. Band. Leipzig 1783. 8.
2 Mémoires de Paris 1733—37.
3 Leçons de physique, Tome VI. p. 408.

er sie nicht für entgegengesetzt, sondern nur für verschieden hielt. Dr. DESAGULIER [1] dessen Dissertation sur l'électricité des Corps im Jahre 1742 bei der Akademie zu Bourdeaux den Preis erhielt, brachte die bisher angestellten Versuche auf allgemeine Gesetze, und führte zuerst den Namen, „an sich el. Körper" und Leiter ein.

Um diese Zeit fingen die deutschen Gelehrten an, sich durch wichtige Entdeckungen in diesem Fache auszuzeichnen. HAUSEN in Leipzig machte hierzu den Anfang, und führte statt der bisher gewöhnlichen Glasröhren, die durch eine Maschine umgedrehte Kugel ein. BOSE in Wittenberg, WINKLER in Leipzig und der P. GORDON in Erfurt gelangten auf diesem Wege zu sehr verstärkten Graden der E. und zu vielen neuen Erfindungen. Dr. LUDOLF in Berlin entzündete zuerst im Jahre 1744 Vitrioläther durch den el. Funken, WINKLER erwärmten Branntwein durch den Funken aus seinem Finger, GRALATH in Danzig den Rauch eines eben erloschenen Lichtes, und BOSE den Dampf von schmelzendem Schiefspulver. Der jüngere LUDOLF in Berlin bewies, dafs das Leuchten der Barometer in der That el. sey, GRUMMERT bemerkte das Leuchten luftleerer Glasröhren in ziemlicher Entfernung von der in Bewegung gesetzten Elektrisirmaschine, KRÜGER die Veränderung der Farbe der Blumen durch el. Ausströmen und WAITZ [2] machte einen schönen Versuch, die el. Erscheinungen zu ordnen, und auf allgemeine Gesetze zu bringen. MILIS in England bemerkte 1745 zuerst die freiwillig ausströmenden Feuerbüschel aus der geriebenen Glasröhre selbst, und Dr. WATSON, durch dessen Briefwechsel mit den Deutschen die Entdeckungen derselben nach England kamen, wiederholte ihre Versuche, entzündete brennbare Geister, wenn sie von einer isolirten elektrisirten Person gehalten wurden, und eine nicht elektrisirte Person den Funken dagegen brachte, und entdeckte, dafs Rauch und Flamme Leiter sind.

Durch so viele neue und zum Theil belustigende Versuche war schon eine allgemeinere Aufmerksamkeit auf die E. erregt, als am Ende des Jahres 1745 der KLEIST'sche Versuch oder die Leidner Flasche bekannt wurde, deren unerwartete und hef-

1 Philos. Trans. 1739—1742.

2 Abhandl. von der E. und deren Ursachen. Berlin. 1745. 4.

tige Wirkungen jedermann in Erstaunen setzten[1]. Diese große Wirkung der E. machte das Studium derselben allgemein, und führte zu den Wohnungen der Experimentatoren eine Menge von neugierigen Zuschauern. Seit dieser Zeit ist die Anzahl von Kennern und Liebhabern der E., und der Versuche und Beobachtungen über dieselbe mit jedem Tage gewachsen, so daſs es die Grenzen des Artikels weit überschreiten würde, wenn die vielen Entdeckungen einzeln aufgezählt werden sollten und wir uns daher nur auf die wichtigsten Momente einschränken können. Dr. Watson entdeckte bald hernach, daſs beim Isoliren des Reibzeugs der Elektrisirmaschine nur schwache E. zum Vorschein komme, und schloſs, daſs das Reiben nicht E. erzeuge, sondern nur überführe. Der Abt Nollet beobachtete um diese Zeit, daſs Körper im el. Wirkungskreise ebenfalls el. Erscheinungen zeigten, ohne jedoch zu bemerken, daſs ihre E. die entgegengesetzte von jener sey, wie er denn überhaupt die Verschiedenheit der + E und — E fast ganz übersehen hat. Von ihm rühren auch die ersten Versuche über den Einfluſs der mitgetheilten E. auf den Umlauf des Bluts im thierischen Körper, auf die Ausdünstung und das Durchströmen des Wassers durch Haarröhrchen her.

Keiner der damaligen Naturforscher aber verfolgte diese Untersuchungen mit so vielem Scharfsinne und philosophischen Geiste, als Dr. Franklin in Philadelphia. Ihm gelang es, die mannigfaltigen, damals schon bekannten Wirkungen der E., vorzüglich aber den vorher unerklärbaren Leidner Versuch auf eine Theorie zurückzuführen, die mit allgemeinem Beifall aufgenommen ward, und, wenn sie auch gegenwärtig ihr ehemaliges Ansehen nicht mehr behauptet, dennoch auch jetzt noch der sorgfältigsten Prüfung werth ist, und stets als ein Denkmal einer seltenen geistigen Verknüpfungsgabe in ihrem Erfinder anerkannt werden wird. Was aber für das menschliche Geschlecht von wichtigeren Folgen geworden ist, es gelang Franklin aus seinen Erfahrungen die Erklärung des Blitzes und die wohlthätige Erfindung der Blitzableiter zu ziehen, die ihm in der Geschichte der Physik einen unsterblichen Ruhm sichert. Seine hierher gehörigen Entdeckungen und Bemühungen sind bereits unter dem Artikel: *Blitz*, *Blitzableiter*, *Dra-*

1 Vergl. *Flasche.*

che, *elektrischer*, näher gewürdigt worden. Von seiner Theorie der E. wird weiter unten ausführlicher die Rede seyn.

Unter Franklin's Behauptungen gehört auch die von der Undurchdringlichkeit des Glases für die von ihm angenommene el. Materie. Sein Freund Kinnersley in Boston fand, daſs die Glas- und Harzelektricität des du Fay mit Franklin's positiver und negativer E. übereinkomme. Gewisse, jedoch zweideutige Phänomene bestimmten Franklin die Glaselektricität für die positive oder den relativen Ueberfluſs, die Harzelektricität für die negative oder den relativen Mangel zu erklären. Ubrigens fallen diese wichtigen Entdeckungen der nordamerikanischen Naturforscher in die Jahre 1747 bis 1754 [1]. Canton in England und Beccaria in Italien entdeckten um eben diese Zeit, daſs sich die E. der Luft mittheilen lasse. Der erstere fand auch, daſs ihr das Wasser einigen Widerstand leiste, und zeigte den el. Funken unter Wasser, welche Versuche lehrten, daſs es weder vollkommen oder absolut el. Körper noch vollkommene Leiter gäbe, soferne namentlich das Wasser früher als ein solcher angesehen worden war. Canton zeigte auch im Jahre 1753, daſs es bloſs von der Glätte der Oberfläche und vom Reibzeuge abhänge, das Glas und andere el. Körper entweder positiv oder negativ zu elektrisiren, welche Versuche nachher von Beccaria, Wilson, Bergmann, Wilke, Aepinus u. a. [2] noch weiter getrieben wurden.

Eine der gröſsten Entdeckungen dieser Zeit ist die von den el. Wirkungskreisen. Canton machte seine Versuche hierüber im Jahre 1753 zuerst bekannt, welche nach Priestley's Ausdrucke einer Zauberei ähnlich sehen; Franklin setzte dieselben fort, behielt aber immer noch die gemeine Meinung bei, daſs die Wirkungskreise aus el. Materie beständen, und gleichartige E. mittheilten; daher es ihm unmöglich war, die Phänomene ungezwungen zu erklären. Wilke löste endlich das Räthsel auf und gab zuerst [3] das wahre Gesetz der Wirkungskreise an, welches Aepinus durch neue Versuche noch mehr

1 Franklin's new exper. and observ. on electricity in several letters to Mr. Collinson. London 1717. 4. Benj. Franklin's Briefe von der E. übers. von J. C Wilke, Leipzig 1758.

2 S. oben die hierher gehörige Literatur.

3 De electricitatibus contrariis. Rostockii 1757. 4.

bestätigte. Beide befanden sich damals in Berlin, setzten diese Untersuchungen gemeinschaftlich fort, erklärten die Ladung der Flaschen u. s. w. noch deutlicher, erfanden die Ladung einer Luftschicht oder den unter dem Artikel „Blitz“ angeführten Versuch mit zwei Metallplatten, und legten den Grund zu den neuern Erweiterungen der Lehre von der E. und besonders von der Vertheilung derselben, welche mehrentheils nur auf deutlichere Entwickelung der in ihren Schriften schon enthaltenen Erfindungen hinauslaufen [1]. Robert Symmer's sehr merkwürdige Versuche über die E. geriebener seidener Bänder und Strümpfe vom Jahre 1759, welche Cigna weiter fortgesetzt hat, leiteten auf die Vermuthung zweier el. Materien, die den Forschungen in der Elektricitätslehre gleichsam eine neue Richtung gab, und besonders viele Versuche veranlafste, um der einen oder andern Einsicht, in welche sich von nun an die Physiker theilten, derjenigen der Unitarier oder Dualisten der Franklin'schen oder Symmer'schen Theorie den Sieg zu verschaffen, durch welche Versuche die Elektricitätslehre mannigfaltig bereichert worden ist.

Volta, den man den zweiten Franklin in der Elektricitätslehre nennen kann, und der ein treuer Anhänger des Systems seines grofsen Vorgängers auf dieser Bahn blieb, erwarb sich besonders grofse Verdienste durch die sinnreiche Anwendung der Lehre von den el. Wirkungskreisen, welche er ganz im Franklin'schen Geiste gegen das durch Beccaria eingeführte neue Gesetz der sich selbst wiederherstellenden E. erklärte, und dieser Anwendung verdankte die Elektricitätslehre die Bereicherung mit zwei sehr interessanten Instrumenten, dem Elektrophor im Jahre 1775 und dem Condensator im Jahre 1783. Indefs fehlte es noch immer an genauen messenden Versuchen, welche es allein möglich machen, die Gesetze einer physischen Kraft mit mathematischer Strenge zu entwickeln. Diese Versuche und eine Reihe höchst wichtiger Folgerungen daraus verdankt diese Lehre vorzüglich dem in mikrometrischen Versuchen wahrhaft grofsen französischen Naturforscher Coulomb der uns dadurch in Stand setzte, die el. Erscheinungen, soferne sie zunächst nur als Wirkungen repulsiver und anziehender Kräfte, die überall nach Gleichgewicht streben, und deren

1 S. *Wirkungskreise, el.*

Wirksamkeit in einem bestimmten Verhältnisse der Distanzen abnimmt, in Betracht gezogen werden, dem feinsten mathematischen Calcüle zu unterwerfen, welches seitdem von einzelnen Physikern, namentlich von BIOT und POISSON mit glücklichem Erfolge geschehen ist [1]. Bei den grofsen Fortschritten, welchen die Chemie in diesem Zeitpuncte machte, konnte es nicht fehlen, dafs die E., die in dem chemischen Processe selbst eine so grofse Rolle spielt, von einer neuen Seite das Studium und den Forschungsgeist der Physiker auf sich ziehen mufste, nämlich von der Seite ihres innern Wesens, welches durch Betrachtung eben dieser Kraft als blofser Ursache von Bewegungen (Anziehungen und Zurückstofsungen) lange nicht erschöpft werden konnte, und auf welchem ihre specifischen oder qualitativen Beziehungen in der Natur beruhen. VAN MARUM hatte bereits durch Hülfe der grofsen Teyler'schen Elektrisirmaschine und seiner grofsen Batterieen eine grofse Reihe von Versuchen angestellt, durch welche ein helleres Licht über die chemischen Wirkungen der E. verbreitet wurde [2]; doch wird eigentlich erst durch die gröfste Entdeckung neuerer Zeiten auf dem Gebiete der Physik, durch die Entdeckung des *Galvanismus*, und insbesondere durch den grofsen Schritt, welchen VOLTA am Ende des Jahres 1799 in dieser Lehre machte [3], in dieser Hinsicht die Bahn gebrochen. Die chemischen Verhältnisse der E. beschäftigten von nun an am meisten die Physiker; mit ihrer tiefern Kenntnifs gestaltete sich eine ganz neue chemische Theorie, die sogenannte Elektrochemie, für welche von H. DAVY die wichtigsten Entdeckungen gemacht, und die vorzüglich von J. BERZELIUS und von SCHWEIGGER unter dem Namen der *Krystallelektricität* ausgebildet wurde. Zu allen diesen wichtigen Untersuchungen und Entdeckungen kam noch als folgenreich die glänzende Entdeckung OERSTED's in Kopenhagen über die Erregung des Magnetismus durch den galvanisch el. Strom im Jahre 1820 hinzu, wodurch die E. immer mehr

---

1 S. des ersteren Traité de Physique mathématique et experimentale Tome II. Livre III. De l'Electricité p. 209 ff.

2 vorzüglich in dem Eerste Vervolg Proefneemingen gedaan met Teylers Electrizeermachine. Haarlem 1787. 4. deutsch. Leipzig 1788 4. und im Tweede Vervolg etc. Haarlem 1795. 4.

3 S. *Galvanismus*.

als die geheime Triebfeder der Processe erschien, durch welche die steten Metamorphosen in der Natur unterhalten werden.

So ausgedehnt nach dieser kurzen historischen Darstellung das Gebiet unserer Erfahrungen und Kenntnisse in der Elektricitätslehre erscheinen mag, so müssen wir doch gestehen, dafs wir noch lange nicht tief genug in das Innere dieser Kraft eingedrungen sind, wie am deutlichsten die gleich folgende Aufzählung der mannigfaltigen Hypothesen über die Natur der E. darthun wird, von denen zwar die meisten veraltet sind, aber doch noch mehrere wesentlich von einander abweichend sich einander gegenüber stehen, ohne dafs irgend eine derselben bis jetzt die hierbei vorkommenden Probleme genügend zu lösen im Stande wäre. Man kann auch hier anwenden, was für andere Sphären der Wissenschaft gilt, dafs die Wurzel um so tiefer geht, und um so verborgener wird, je mehr sich der Stamm einer Wissenschaft in Aesten und Zweigen ausbreitet [1].

VIII. Hypothesen über die Ursache der Elektricität oder Theorien dieser Erscheinungen.

Die ersten Experimentatoren, welche noch keine andere el. Erscheinungen, als das Anziehen und Zurückstofsen kannten, erklärten dasselbe durch ölichte oder klebrige Ausflüsse, welche aus den geriebenen Körpern ausgehen und in dieselben wieder zurückkehren sollten. Sie glaubten, diese Ausflüsse hingen sich an alle Körper, und rissen die leichten und beweglichen mit sich fort, die, wenn sie den geriebenen Körper berührt hätten, durch neue Ausflüsse zurückgestofsen würden. Diese Meinung hat Gilbert und Kenelm Digby [2]. Auch Boyle hat sie angenommen. Dafs man sich diese Ausflüsse um den Körper herum in Gestalt eines Dunstkreises versammelt dachte, hat unstreitig zu der Benennung der el. Atmosphäre Anlafs gegeben. Newton scheint die E. als eine Art der Anziehung betrachtet zu haben, die auf eine ähnliche Art, wie die Schwere bewirkt werde. Wenigstens stellt er in seinen der Optik beige-

1 Rücksichtlich der neuen Entdeckungen s. d. Artikel: *Elektrisirmaschine; Elektrometer; Galvanismus; Flasche, geladene; Krystall-Elektricität; Luft-Elektricität; Säule, Voltaische.*

2 Demonstratio immortalitatis animae 1664. 8. T. I. cap. 16.

fügten Fragen mehrmals *Attractiones gravitatis, virtutesque magneticae et electricae* zusammen. Das heifst bei ihm zwar nichts weiter, als dafs er die Schwere sowohl als die el. Kraft wie blofse Phänomene betrachte und die Ursache von beiden nicht wisse. Aber seine Schüler glaubten das Phänomen erklärt zu haben, wenn sie es von einer den Körpern wesentlichen besondern Art der Anziehung und Zurückstofsung herleiteten. Dü Fay erklärte das Anziehen und Zurückstofsen aus gewissen, die el. Körper umringenden Wirbeln, dergleichen schon Cabeus[1] angenommen hatte. Allein obgleich Dü Fay die beiden von ihm entdeckten Elektricitäten für zwei verschiedene annimmt, die sich unter einander selbst anziehen, so erklärt er sich doch nirgends darüber, wie er sich den Unterschied zwischen den Wirbeln derselben und die Ursache ihrer Anziehung vorstelle. Die Erscheinungen des ausströmenden Lichts, das Blasen, das man dabei fühlt, des el. Funkens und des phosphorischen Geruchs, fingen an die Physiker auf die Vermuthung einer eigenen el. Materie zu führen, welche einige für einen ganz eigenen Grundstoff, andere für das Elementarfeuer, noch andere für den Aether oder die Materie des Lichts, manche auch wie Boulanger[2] für die feineren Theile der Atmosphäre ansahen, welche sich beim Reiben nach Wegnahme der gröberen Theile auf den Oberflächen der Körper anhäuften. Man glaubte, diese Materie habe ihren Sitz vorzüglich in den elektrischen Körpern, werde durch das Reiben losgemacht und in Thätigkeit gesetzt, und fahre aus den geriebenen Körpern in die daran gebrachten Leiter über.

Die merkwürdigste der damaligen Theorien ist Nollet's Hypothese der gleichzeitigen *Aus- und Zuflüsse.* Effluences et affluences simultanées). Dieser geschickte Experimentator bewiefs zuerst aus den oben angeführten Phänomenen das Daseyn einer el. Materie, die weit feiner als die Luft sey, auch sich nicht in Wirbeln, sondern in geraden Linien bewege, und Atmosphären um elektrisirte Körper bilde. Diese Materie strömt nach seiner Meinung aus dem el. Körper aus, zu gleicher Zeit strömt eben soviel davon aus den benachbarten Körpern, ja selbst aus der an-

---

1 Philosophia magnetica, Ferrara 1629. Fol.

2 Traité de la cause et des phén. de l'él. Paris 1750. 8.

liegenden Luft in den Körper hinein. Bei starker E. entzünden sich diese Ströme durch den Stofs ihrer Strahlen und werden leuchtend. Die Zwischenräume, aus welchen die Materie ausgeht, sind nicht so zahlreich als die, wodurch sie eingeht. Die ausströmende Materie bildet Büschel von divergirenden Strahlen, welche, wenn sie auch in einiger Distanz nicht mehr sichtbar sind, dennoch immer weiter fortgehen. Diese Materie durchdringt die Leiter sehr leicht, die Nichtleiter schwer oder gar nicht, wenn sie nicht gerieben oder erwärmt werden. Sie ist überall verbreitet, und wahrscheinlich einerlei mit dem Elementarfeuer, nur dafs sie sich bisweilen mit einigen feineren Theilen der Körper verbindet. Aus diesen Sätzen erklärt Nollet das Anziehen und Zurückstofsen leichter Körper auf folgende Art. Die Ausflüsse geschehen aus wenigen Puncten, und büschelförmig, die Zuflüsse nach allen Puncten. Ein leichter kleiner Körper wird also in einiger Distanz von den zufliefsenden Strömen ergriffen, und stärker fortgeführt, als ihn die durch Divergenz geschwächten Ströme der Ausflüsse wegtreiben. So fliegt er bis an den elektrisirten Körper, wo die ausfliefsenden Büschel näher beisammen sind, und ihn also zurückstofsen. Während dieser Zeit wird er selbst durch Mittheilung elektrisirt, d. h. es entsteht Ausfluſs aus seinen eigenen Poren und Einströmen in dieselben. Unter diesen Umständen kann er nicht wieder angezogen werden, weil seine Ausflüsse den Ausflüssen des andern Körpers entgegengesetzt sind. Verliert er aber seine E. durch die Berührung mit andern Körpern, so kehrt er wieder in seinen anfänglichen Zustand zurück, und wird aufs Neue angezogen. Einen augenscheinlichen Beleg zweier solcher Ströme, die sich einander begegnen, schienen besonders die Erscheinungen, die man beim Puppentanze bisweilen beobachtet, zu geben, wo die tanzenden Puppen nur bis zu einer gewissen Nähe gegen die elektrisirte Metallscheibe hinschweben, und dann gleichsam durch den entgegen kommenden Strom wieder zurückgeworfen werden. Indefs findet auch diese Erscheinung ihre genügende Erklärung in dem Umstande, dafs diese Puppen vermöge der Spitzenwirkung schon vor der unmittelbaren Berührung und in merklicher Entferuung in den gleichartigen el. Zustande mit der Scheibe versetzt, und nach dem allgemeinen Gesetze der Repulsion, welche gleichartige Elektricitäten auf einander ausüben, zurückgestofsen werden müssen. Zwischen den beiden ver-

schiedenen Elektricitäten des Glases und des Harzes, scheint NOLLET weiter keinen Unterschied anzunehmen, als daſs jene stärker, diese schwächer sey.

Die unerwartete Entdeckung des Leidner Versuchs legte den Physikern der damaligen Zeit ein unerklärbares Räthsel vor. NOLLET versuchte seine Hypothes darauf anzuwenden, *ohne* jedoch gehörige Rücksicht auf die verschiedenen Elektricitäten der beiden Seiten des Glases zu nehmen. So hatte er nicht einmal den richtigen Begriff der Ladung der Flasche, die er überhaupt nur für Ueberfüllung mit el. Materie annahm. Die Erschütterung beim Entladen erklärte er durch das Zusammenstoſsen zweier el. Ströme, deren einer aus der innern, der andere aus des äuſsern Seite der Flasche komme, die sich im Körper der entladenen Person begegneten, und dadurch die in ihr enthalten el. Materie erschütterten. Ganz wider die Erfahrung nahm er an, man könne auch isolirte Flaschen laden; denn seine Hypothese enthält keinen Grund, warum dieses unmöglich seyn sollte. Eben so leugnet er beim Entladen die Nothwendigkeit der Verbindung beider Seiten, und meint, man dürfe nur die äuſsere Seite mit dem Conductor der Maschine verbinden, gerade als ob dieses nicht auch eine Verbindung beider Seiten wäre. In seinen Versuchen nämlich ist der Conductor mit der innern Seite durch ein Vacuum verbunden, welches so gut als ein Leiter ist.

Sogleich nach dem Leidner Versuche ward auch Dr. WATSON's Entdeckung bekannt, daſs der geriebene Körper die E. nicht aus sich selbst hervorbringe, sondern aus dem Reibzeuge sammle. Dies änderte die bisherigen Vorstellungen der Physiker von der Erregung der E. und brachte schon WATSON selbst auf den Begriff von plus und minus E. oder davon, daſs die den Funken ziehende Person aus der Kugel eben das erhalte, was ihr das Reibzeug gegeben habe, daher vor dem Ziehen des Funkens die Kugel mehr E., das Reibzeug weniger, als sonst, müsse gehabt haben. WATSON hat seine Abhandlung hierüber[1] schon im Anfange des Jahres 1747 eingereicht. FRANKLIN hatte inzwischen eben dasselbe bemerkt. Wenn zwei Personen auf Wachs standen, deren eine die Röhre rieb, die andere den Funken darauszog, so waren beide elektrisirt, und gaben

---

1 Philos. Transact. Vol. XLIV. XLV.

sich unter einander selbst einen stärkeren Funken, als wenn jede von einer dritten berührt wurde. Er schloſs daraus, daſs eine von beiden das hergebe, was die andere erhalte, und daſs also vor dem hergestellten Gleichgewichte die eine mehr, die andere weniger gehabt habe. Dies gab ihm Anlaſs, die E. der einen die *positive*, der andern die *negative* zu nennen, und zur Erklärung der el. Erscheinungen überhaupt folgende Sätze anzunehmen.

1. Durch die ganze Körperwelt ist eine einzige feine Materie verbreitet, welche den Grund aller el. Erscheinungen enthält.

2. die Theile dieser Materie stoſsen sich ab, werden aber von den Theilen der Körper angezogen.

3. Jeder Theil eines Körpers kann eine gewisse Menge dieser Materie in sich nehmen, ohne daſs sie sich an seiner Oberfläche anhäufen darf; hat er gerade diese Menge, so ist er nicht elektrisirt, oder in seinem natürlichen Zustande.

4. Hat er mehr, als diese ihm natürliche Menge, so ist er positiv; hat er weniger, so ist er negativ elektrisirt.

5. Alle el. Erscheinungen entstehen durch einen Uebergang, in welchem sich der relative Ueberfluſs mit dem relativen Mangel ausgleicht, oder durch proportionirte Vertheilung dieser Materie. Hieraus erklären sich nun zuerst das Anziehen und Zurückstoſsen. Sind zwei Körper beide positiv, so werden sich ihre el. Materien stärker zurückstoſsen, als eine jede von ihnen von den Theilen des andern Körpers angezogen wird; daher scheinen sich die Körper zu fliehen. Ist der eine positiv, der andere negativ, so wird der Ueberfluſs des positiven von den Theilen des andern stärker angezogen, als er die wenige el. Materie desselben abstoſsen kann, daher gehen die Körper zusammen. Sind beide negativ, so stoſsen die Theile der in der Luft befindlichen el. Materie sich selbst stärker zurück, und werden von den Theilen der Körper stärker angezogen, als von ihrer zu wenigen el. Materie abgestoſsen, daher dringt die so leicht bewegliche Luft dazwischen, und die Körper fliehen von einander.

So folgt aus Franklin's Sätzen das Gesetz des Anziehens und Zurückstoſsens, und also auch das Gesetz der Wirkungskreise, welches, wie oben gezeigt worden, mit jenem ganz einerlei ist. Kommt ein Körper, der im natürlichen Zustande sich befindet,

in den Wirkungskreis eines positiv el., so treibt der Ueberfluſs der E. des Letzteren die relativ geringere Menge des natürlichen Antheils stärker zurück, als dieser von den Theilen des Körpers festgehalten wird, und zieht diesen Letzteren, und somit den Körper selbst an, so wie auch er selbst seinerseits angezogen wird, gerade so, wie ein positiv und negativ elektrisirter Körper einander anziehen. Kommt dagegen ein im natürlichen Zustande befindlicher Körper in den Wirkungskreis eines negativ elektrisirten, so häuft sich der natürliche Antheil nach der Seite hin an, wo weniger zurückstoſsende Kraft wegen des relativen Mangels von E. in dem negativ el. ihm entgegenwirkt, es entsteht Ueberfluſs, oder diese Seite wird positiv, und Anziehung tritt wieder auf dieselbe Weise ein, wie zwischen einem positiv und negativ elektrisirten. Zwar sind diese Erklärungen nicht Franklin's selbst, der sich von den Atmosphären damals noch den Begriff machte, daſs sie aus der um den Körper umherschwebenden el. Materie beständen. Erst Wilke und Aepinus haben die Wirkungskreise besser kennen gelehrt, und dadurch selbst im Franklin'schen Systeme den Zusammenhang der Erklärung erleichtert.

Was aber dieser Theorie den meisten Glanz gab, war die schöne Erklärung des Leidner Versuchs, der dadurch in einem über alle Erwartung deutlichen Lichte erschien. Franklin behauptete nämlich, das Glas sey undurchdringlich für die el. Materie selbst, nicht aber für die Wirkungen ihres Anziehens und Abstoſsens. Werde daher die eine Seite der Flasche *positiv* elektrisirt, so stoſse dieser Ueberfluſs eine gleiche Menge el. Materie in der andern Seite ab, daher werde diese eben so stark *negativ*, wofern sie nur ihre el. Materie wirklich abgeben könne, d. i. wenn sie nur nicht isolirt sey. Die Undurchdringlichkeit des Glases hindere die Ausgleichung des Mangels auf der einen Seite durch den Ueberfluſs der andern. Darin bestehe die *Ladung*. Werde nun eine äuſsere leitende Verbindung zwischen beiden Seiten gemacht, so gebe die positive Seite auf einmal ihren Ueberfluſs an die negative ab, ersetze den Mangel derselben und stelle das Gleichgewicht her. Dies sey die *Entladung*. Es bleibt bei der geladenen Flasche kein Hauptphänomen übrig, das man nicht auf diese Art mit hinlänglicher Deutlichkeit begreifen und vorhersagen könnte. Auch

die Erscheinungen des *Elektrophors* lassen sich aus diesem System erklären, wenigstens damit vereinigen[1].

Diese Vorzüge einer, wie es schien, vollkommen befriedigenden und einfachen Erklärung der mannigfaltigen el. Erscheinungen, haben dem Franklin'schen Systeme ein grofses und dauerhaftes Ansehn verschafft. Die schwachen Waffen, womit es Nollet bestritt, konnten ihm nicht schaden. Gerade die Theile, die Nollet tadelte, z. B. die Undurchdringlichkeit des Glases, die verschiedenen Elektricitäten beider Seiten der Flasche, stehen am festesten, und gerade *der* Punct ist zweifelhaft, den Nollet selbst annahm, nämlich die Einheit der el. Materie. Robert Symmer[2] zog, wie schon oben bemerkt, aus seinen Versuchen über die E. geriebener seidener Bänder und Strümpfe die Vermuthung, dafs es zwei el. Materien gäbe, die beide einander stark anziehen, indem die Theilchen einer jeden sich unter einander selbst stark abstofsen. Nach dieser Hypothese sind also + E und — E zwei wirklich verschiedene Materien, die gegen einander gleichsam eine innige chemische Verwandtschaft haben, einander in der Entfernung anziehen, und durch diese Anziehung die einer jeden eigene repulsive Kraft ihrer Theilchen gegen einander schwächen, oder sich schon aus der Ferne binden und bei wirklichem Uebergange sättigen können. Wo nach Franklin der Uebergang allemal nur von der Seite, die zu viel hat, d. h. von seiner positiven Seite aus, in die andere, die zu wenig hat, oder die negative Seite geschieht, da findet nach der richtig verstandenen Symmer'schen Theorie stets wechselseitiger Uebergang statt, oder es kommen sich beide Elektricitäten stets entgegen. Bei der obigen Auseinandersetzung der el. Erscheinungen haben wir eigentlich diese Theorie zum Grunde gelegt. Sie hat auch dem ersten Anblicke nach in ihren speciellen Anwendungen so viele Aehnlichkeit mit der Franklin'schen, dafs Einige sie blofs eine Verdoppelung der Letzteren genannt haben, indem in dieser *dualistischen* Theorie die negative E. auch ihrer Seits eine gleiche Rolle zu spielen scheint, wie die eine positive in dem Franklin'schen Systeme. Untersucht man aber die Sache gründlicher, so fallen die Abweichungen doch viel gröfser aus, da nach dem consequenten

1 S. *Elektrophor*.

2 Philos. Transact. Vol. LI. P. 1.

Dualismus alles auf einem bloſsen Wechselverhältnisse der el. Materie selbst beruht, und die Theile der Körper selbst sich ganz passiv verhalten. Daher halten wir für nöthig, von den Haupterscheinungen im Geiste der Symmer'schen Theorie, wie sie zwar von Symmer selbst noch nicht vorgetragen wurde, aber in den Principien desselben liegt, und nach Anleitung der lichtvollen Darstellung vorzüglich durch Biot, hier die speciellere Erklärung zur Vergleichung mit der Franklin'schen mitzutheilen.

Diese Haupterscheinungen, sofern sie hier nur erst in Betracht kommen, sind die *Repulsions-Erscheinungen gleichartig elektrisirter Körper* und *elektrisirter gegen indifferente* Fig. 33. oder *im 0 el. Zustande befindliche Körper.* A B sollen zwei positiv elektrisirte Hollundermarkkügelchen seyn. Die el. Flüssigkeiten, welche diese Kugeln einhüllen, stoſsen sich wechselseitig ab, und ihre Theilchen würden sich durch entgegengesetzte Bewegung im Raume verbreiten, wenn nicht die umgebende Luft sie um jeden Körper zurückhielte. Sie können daher nur nach den entgegengesetzten Seiten der beiden Kugeln hingleiten und sich daselbst anhäufen, so daſs die Flüssigkeit der Kugel A nach dem hintern Theile d derselben zurückgedrängt wird, und ihre Kraft auf die in der Nähe des Punctes befindliche Luft selbst ausübt. Weil alsdann das Gleichgewicht zwischen dieser Luft und derjenigen, welche dem vordern Theile c zunächst liegt, aufgehoben ist, so wirkt dieser letztere Theil durch seine E. auf die Kugel A, um sie nach der Richtung c h fortzustoſsen. Das ähnliche Raisonnement gilt umgekehrt auch von der Kugel B. Hieraus folgt dann nothwendig, daſs beide Kugeln nach entgegengesetzter Richtung aus einander gehen und fliehen müssen. Man könnte hier bemerken, daſs man die Mitwirkung der Luft gar nicht nöthig habe, um das wechselseitige Auseinandergehen beider positiv elektrisirter Körper zu begreifen, weil es schon eine nothwendige Folge der zurückstoſsenden Wirkung sey, welche die Theilchen der el. Flüssigkeit unmittelbar auf einander ausüben, genau so wie die gleichartigen Pole der Magnetnadeln sich wechselseitig zurückstoſsen und fliehen. In der Wirklichkeit kann man indeſs die Mitwirkung der Luft auf die oben angegebene Weise nicht leugnen, weil die E. an der Oberfläche der Körper selbst beweglich ist, und sobald sie sich also an der einen Seite anhäuft, was

eine nothwendige Folge der wechselseitigen Repulsion ist, an dieser Seite auch der Elasticität der Luft stärker entgegen wirken muſs, wodurch dann das Uebergewicht der Elasticität der Luft von Innen heraus nothwendig folgt. Wäre die E. an der Oberfläche der Körper selbst nicht beweglich, so würde allerdings die bloſse Repulsivkraft ihrer Theilchen in Beziehung auf einander als die einzige physische Ursache der Bewegung zu betrachten seyn, wie dieses bei Magneten wirklich der Fall ist, bei welchem die nördlichen oder südlichen Fluida, die sich zurücktreiben, ihre Stelle nicht verändern.

Die obige Erklärung findet auch ihre Anwendung, wenn beide Kugeln negativ elektrisirt sind, da die negativen Flüssigkeiten gegen einander dieselbe repulsive Thätigkeit ausüben, wie die positiven. Wenn die Kugel A positive, B negative E. besitzt, so werden die el. Flüssigkeiten einander so anziehen, daſs sie sich an der innern oder vordern Seite anhäufen, und also z. B. die in A an der Stelle C angehäufte Flüssigkeit, durch Zurückstoſsung auf die benachbarte Luft, wirken, folglich die an den hintern Theil grenzende Luft die Kugel A nach der Richtung d n stoſsen wird. Der nämliche Erfolg findet im entgegengesetzten Sinne in Hinsicht der Kugel B statt, und folglich bewegen sich die Flüssigkeiten und die Kugeln gegen einander.

Um den Fall gehörig zu würdigen, wo einer der beiden Körper im natürlichen Zustande sich befindet, und nur der andere elektrisirt ist, wo also das Gesetz der Vertheilung oder der Zersetzung des 0 in + und — eintritt, muſs erst das Gleichgewicht der beiden Körper betrachtet werden, die sich im natürlichen Zustande befinden, und zwar ist es hinlänglich, die Art zu bestimmen, wie A auf B wirkt, weil alle Wirkung wechselseitig geschieht.

Es finden hier vier Wirkungen von A auf B statt, welche Fig. 33. von den Abstoſsungen seiner beiden el. Flüssigkeiten auf die gleichnamigen in B, und von den Anziehungen gegen die ungleichnamigen Flüssigkeiten herrühren. Das Gleichgewicht hängt von dem Gleichgewichte dieser vier Wirkungen ab. + E (von A) zieht — e (von B), — E stöſst — e ab, — E zieht + e an, + E stöſst + e ab. Nun sind die beiden ersten Kräfte einander gleich, denn wenn — e mehr oder weniger von + E angezogen als von — E abgestoſsen würde, so würde es eine Bewegung annehmen, welches aber mit der Vor-

aussetzung des Gleichgewichts streitet. Aus demselben Grunde sind auch die beiden letzten Kräfte einander gleich, nämlich die Anziehung von + e durch — E, und die Abstoſsung von + e durch + E. Ferner ist die dritte Kraft der ersten gleich, d. h. so stark als + E — e anzieht, zieht auch — E + e an. Denn die Gröſse der Totalkraft, mit welcher — e sich nach + E zieht, ist gleich dem Producte — e × + E; eben so ist die Totalkraft, mit welcher + e von — E gezogen wird, dem Producte + e × — E gleich. Weil nun die beiden el. Flüssigkeiten in jedem Körper wechselseitig durch einander neutralisirt sind, so folgt daraus, daſs sich die Flüssigkeiten — E und — e und + E und + e in einer geometrischen Proportion befinden, d. h. — E × + e = + e × — E. Da nun drei von den hier betrachteten Kräften einander gleich sind und ein Gleichgewicht dabei statt findet, so muſs natürlich die vierte Kraft jeder der drei andern gleich seyn. Diese Gleichheit der vier Kräfte macht, daſs zwei Körper im natürlichen Zustande nicht auf einander wirken. Nun betrachte man einen positiv elektrisirten Körper A in Beziehung auf B, das sich im natürlichen Zustande befindet. Die positive Flüssigkeit, womit A umgeben ist, übt eine *zurückstoſsende* Kraft auf die gleichartige el. Flüssigkeit, welche den einen Theil von dem natürlichen Fluidum des Körpers B ausmacht, und eine anziehende auf sein — E aus. Das — zieht sich nach der Seite, die A am nächsten liegt, das + nach der entgegengesetzten Halbkugel von B. Wenn man nun auf die zu A hinzugekommene el. Flüssigkeit, von welcher sein el. und damit thätiger Zustand abhängt, dieselbe Schluſsart anwendet, wie bei derjenigen, welche einen Theil seines natürlichen Fluidums bildet, so ist leicht einzusehen, daſs sie bei gleicher Entfernung Wirkungen auf die beiden Flüssigkeiten von B ausüben würde, die sich wechselseitig zerstören. Da aber die Entfernung nicht mehr dieselbe ist, so wird das — e von B stärker angezogen als das + e zurückgestoſsen werden, wovon dann die wechselseitige Annäherung bis zur Berührung die Folge seyn wird, wenn die Körper frei aufgehängt und beweglich sind. Wenn sich dann jene überschüssige Quantität der positiven Flüssigkeit von A mit der auf der Oberfläche von B verbreiteten negativen verbindet, so entsteht aus dieser Vereinigung eine gewisse Quantität natürlicher Flüssigkeit oder 0, welche in B zurückbleibt. Derjenige Theil der

positiven Flüssigkeit, der nothwendig ausser dem Zustande der Verbindung bleibt, vertheilt sich unter die beiden Körper nach einem bestimmten Gesetze der Oberflächen, und weil sich die Körper nun in gleichartig elektrisirtem Zustande befinden, so stofsen sie sich, wie auch die Erfahrung lehrt, einander ab. Alles Angeführte pafst auch auf den Fall der negativen Ladung von A, nur mit Veränderung der Zeichen. Die bisherige Darstellung bezog sich auf Leiter der E., an welchen diese sich frei bewegen kann. Wird ein Nichtleiter von einem elektrisirten Leiter angezogen, so bleibt ersterer an letzteren hängen, denn die Anziehung mufs fortdauern, weil nach der Berührung die überschüssige el. Flüssigkeit von A den Körper B nicht durchdringen kann, um sich mit der ihr entgegen gesetzten zu vereinigen. Da alle el. Erscheinungen von einem gleichen Wechselverhältnisse entweder der beiden freien ungleichnamigen oder der gleichnamigen Elektricitäten, oder der positiven oder der negativen gegen das 0 oder die neutrale Verbindung beider Elektricitäten abhängen, wobei jedesmal eine Zersetzung derselben, oder wie wir es oben bezeichnet haben, eine Vertheilung statt findet, so sieht man leicht ein, dafs die gegebene Erklärung überall ihre Anwendung finden mufs.

Was namentlich noch den Leidner Versuch anlangt, so macht das der inneren Seite der Verstärkungsflasche zugeführte + E durch Zurückstofsung einen nach der Dicke der dazwischen befindlichen Glaswand verschiedenen verhältnifsmäfsigen Antheil + E der äufsern Seite frei, und bindet eine gleiche Menge — E durch Anziehung derselben. Ist also die äufsere Seite mit hinlänglichen Leitern verbunden, so giebt sie demselben soviel + E ab, als frei wird, und soferne ihr Wirkungskreis sich auch noch auf diese Leiter selbst erstreckt, so treibt sie auch noch aus diesen + E zurück, und zieht ihr — E an. Dies macht die Ladung aus, deren genauerer Vorgang indefs erst unter dem Artikel *Flasche, geladene*, erläutert werden wird. Die entgegengesetzte E. auf der äufsern Seite ist vollkommen durch die der innern Seite gebunden, welche letztere dagegen stets einen verhältnifsmäfsigen Antheil freier E. zeigt. Wird zwischen beiden Seiten eine leitende Verbindung gemacht, so macht sich auf einmal alles — E und + E von beiden los. Aus der innern Seite geht das + E heraus, welches das — E der äufsern band, die äufsere entläfst das — E, welches einen

verhältnifsmäfsigen Theil des + E der innern Seite gebunden gehalten hatte. Beide Seiten befreien also einander selbst von ihren Elektricitäten. Die Phänomene des *Elektrophors* erklären sich nach dieser Theorie eben so genügend, da sie nach dem Gesetze der el. Vertheilung erfolgen[1].

Wie verschieden auch sonst die Ansichten der Physiker über die nähere Natur der E. sich gestaltet haben, so lassen sie sich doch immer auf eine dieser beiden Haupttheorien zurückbringen, und um über den Werth derselben entscheiden zu können, ist es also vor allen Dingen nöthig, den Vorzug der einen derselben vor der andern dargethan, oder, was das letzte Ziel seyn mufs, womöglich die eine als unhaltbar gänzlich beseitigt zu haben.

Bei Gegeneinanderhaltzung derselben erscheint beim ersten Anblicke ein wesentlicher Vorzug der *Franklin'schen Theorie* darin zu bestehen, dafs sie da nur eine Materie gebraucht, wo der Dualismus zwei zu Hülfe nehmen mufs. Man soll nach Newton's weisen Regeln nie mehr Ursachen annehmen, als zur Erklärung der Erscheinungen nothwendig sind, also nicht zwei, wo eine hinreicht. Aber es ist hier eben die Frage, ob diese eine wirklich hinreichend sey, und ob nicht die Annahme zweier Materien durch Analogie mit andern schon fest begründeten Erklärungen sich mehr empfehle. Man kann in Hinsicht auf das Für und Wider gleichsam zwei Epochen in der Geschichte der Elektricitätslehre unterscheiden, jene vor der Entdeckung des Galvanismus und insbesondere der Volta'schen Säule, in welcher das Uebergewicht der Gründe für zwei el. Materien noch nicht so entschieden war, und daher auch die Franklin'sche Theorie noch immer die meisten Anhänger zählte, und die neuere mit der Volta'schen Säule beginnende, in welcher die neu entdeckten chemischen Verhältnisse der E. der Waagschale auf der des Dualismus den völligen Ausschlag zu geben scheinen. Doch auch ohne Rücksicht auf diese chemischen Verhältnisse boten sich schon in jenem ersten Zeitpuncte mannigfaltige Schwierigkeiten bei der Erklärung verschiedener Erscheinungen nach Franklin's Weise dar.

Zuerst läfst sich einwenden, dafs noch niemand durch einen entscheidenden Versuch habe darthun können, welcher von

1 S. *Elektrophor*.

beiden el. Zuständen der *wirklich positive* sey, d. h. auf welcher Seite sich der Ueberflufs befinde. Nach Franklin's Theorie müfste es sich nämlich mit + E, 0, und — E wie mit verdichteter, gewöhnlicher freier, und verdünnter Luft verhalten. Wie es nun bei der Luft sogleich in die Augen fällt, wo sie verdünnt und verdichtet ist, so sollten sich doch hier auch deutliche Anzeigen finden, wo man den Ueberschufs, und wo den Mangel antreffe. Franklin ward hierüber schon von Kinnersley befragt, und nahm die Glaselektricität für die positive an. Seine Gründe für diese Behauptung sind folgende:

1. Die Glaselektricität giebt weit stärkere und längere Funken, als die einer Schwefelkugel. Dieses erklärt er dadurch, dafs die Körper weit geschickter sind, mehr E. anzunehmen, als die ihnen eigene aus sich herzugeben, daher der Conductor durch Glas, wobei er mehr erhält, stärker elektrisirt werde, als durch Schwefel, wobei er etwas abgeben müsse. Jedoch kann diese willkürlich angenommene Behauptung keinen Beweis abgeben.

2. Wenn die Glaselektricität aus Spitzen ausgeht, sind die Feuerbüschel lang, stark und prasselnd; kürzer hingegen, schwächer und mehr zischend, wenn eine Spitze Harzelektricität verliert. Franklin nimmt die starken Büschel für Ausströmungen des Ueberflusses, die schwachen für Eindringen an, wodurch Mangel ersetzt werde. Die Vertheidiger seines Systems haben noch angeführt, dafs Spitzen, wenn sie + E annehmen, oder nach der dualistischen Ansicht — E abgeben, gar keinen Büschel, sondern einen leuchtenden Punct zeigen, den sie auch wohl einen Stern nannten. Hiermit stimmen aber die Versuche nicht immer überein, denn negative Spitzen zeigen bei stärkerer Intensität ihrer E., namentlich wenn sie mit dem Conductor des Reibzeuges einer starken Elektrisirmaschine verbunden sind, wirkliche divergirende Feuerbüschel. Noch mehr: An beiderlei Spitzen fühlt man ein Blasen, wenn man die flache Hand dagegen hält, und dieser Wind kommt jederzeit von der Spitze her, geht aber nie auf sie zu. Man kann durch dieses Blasen Körper in Bewegung setzen[1], und diese drehen sich allezeit nach einerlei Seite, es sey nun + E was sie treibt, oder — E. Ja eben das geschieht auch im luftleeren Raume. Kampher, den man auf dem Conductor einer Elektrisirmaschine

---

1 S. *Flugrad, elektrisches.*

anzündet, wieder ausbläst und dann plötzlich elektrisirt, wird in lange divergirende Fäden ausgesponnen, der Conductor mag + E oder — E haben. Auf ein gleiches Resultat führt auch das Verhalten der Spitzen gegen die Lichtflamme, an welche sich überhaupt die Physiker wegen ihrer vorzüglich leichten Beweglichkeit gewandt haben, um über die Richtung der E. in ihrer Bewegung und also namentlich darüber, ob einerseits ein Ueberfluſs, andererseits ein Mangel statt finde, ins Reine zu kommen, die aber eben wegen dieser Beweglichkeit leicht zu Täuschungen Anlaſs geben kann. Remer hat einen solchen hierher gehörigen Versuch mitgetheilt, der, ihm zufolge, gegen Franklin zu sprechen scheint [1]. „Wenn man einer am positiv elektrisirten Conductor befindlichen Drahtspitze eine brennende „Wachskerze nähert, so wird diese anfänglich weggeblasen, „als wenn ein Wind aus der Spitze auf sie hinwehete. Bringt „man sie näher, so wird sie zuletzt gänzlich ausgelöscht, „wenn die Flamme nicht zu groſs ist. Nach Franklin's Theorie „hätte nun an einer eben so mit dem negativ elektrisirten Conductor „verbundenen Spitze das Gegentheil erfolgen müssen. Ich brachte „eine kleine brennende Wachskerze in den bewegten Luftstrom „vor einer solchen Spitze, und sogleich entfernte sich die Flamme „von derselben, wurde kleiner und drohte zu verlöschen, wie „beim positiv elektrisirten Conductor. Dies dauerte so lange „als ich die Kerze zwei bis drei Zolle von der Spitze entfernt „hielt. Näherte ich sie aber der Spitze bis auf wenige Linien, „so erholte sich die Flamme sichtbar, fing scheinbar an, leb- „hafter zu brennen, zog sich mit ihrem mittlern Theil nach der „Spitze hin, und nahm eine bauchige halbmondförmige Gestalt „an, so daſs die Spitze der Flamme von der Drahtspitze abge- „wendet war, ihr Körper aber sich dem Drahtende näherte. „Am positiven Conductor löschte sich die Flamme sogleich aus, „als ich sie der Drathspitze nahe brachte, und selbst bei der „schwächesten E. konnte ich es nicht dahin bringen, daſs sie „eben die Gestalt erhielt, welche sie am negativen Conductor „angenommen hatte.“

Daſs dieses Phänomen doch nicht ganz entscheidend für das dualistische System und gegen Franklin's Theorie spricht, bemerkt indeſs Remer selbst, da auch bei der gröſseren Annä-

1 G. VIII. 330.

herung der Flamme die negativ elektrisirte Spitze derselben eben so gut hätte verlöschen sollen, wie die positiv elektrisirte Spitze. Weniger zweideutig sind ähnliche Versuche von Muncke[1]. Gegen eine brennende Kohle, eine Lichtflamme, am besten eine brennende Räucherkerze, sie mochte auf den positiven oder negativen Conductor gesetzt werden, blies der Wind gleichmäfsig von einer einen halben bis ganzen Zoll entfernten nicht isolirten Spitze, und wenn einer der genannten Gegenstände auf ein nicht isolirtes Gestell gesetzt wurde, so blies der Wind eben so gut von einer solchen Spitze aus, die an einer isolirenden Handhabe gehalten, und mit dem Conductor in Verbindung gesetzt wurde, es mochte der positive oder negative seyn. Dafs dieses Phänomen nicht, wie Gilbert glaubt, auf das wechselseitige Zurückstofsen negativ elektrisirter leicht beweglicher Körper, für welches die Franklin'sche Theorie einen Grund in der Anziehung derselben durch die umgebende Luft anzugeben weifs, zurückgeführt werden kann, ist einleuchtend Denn wie sollte eine negative Spitze, ohne dafs etwas aus ihr ausströmt, die umgebende Luft in den negativen Zustand zu versetzen im Stande seyn, da ja die relativ gegen sie positive Luft vielmehr gegen sie hinströmen mufs.

Auch Röslin[2] beruft sich auf die Erscheinungen, welche die Lichtflamme in ihrem Verhalten gegen die beiden Elektricitäten zeigt, als auf einen Hauptbeweis gegen Franklin's Theorie. Eine Lichtflamme in einer Entfernung von $1\frac{1}{2}$ Zoll, entweder an den Cylinder der Elektrisirmaschine während des Reibens derselben oder an eine an den isolirten Conductor des Reibzeuges gesteckte Kugel gebracht, wird in ihrer Richtung gleichmäfsig so verändert, dafs sie unten einen Bauch gegen den Cylinder oder die Kugel hin bildet, und ihre Spitze sich davon flatternd abwendet. Es ziehe also, meint Röslin sowohl das + als das — den untern dem Talge am nächsten liegenden Theil der Flamme an, wobei diese, weil das Fett ein Halbleiter ist, in gewissem Grade mit + E oder — E el. werden soll, was das Abgestofsenwerden ihrer Spitze und das Flattern derselben zur Folge habe. (Dann sollte ja aber auch der auf gleiche Art elektrisirte Bauch der Flamme abgestofsen werden.) Wurde

1 G. N. F. XI. S. 95.

2 Dessen kritischen Prüfungen u. s. w. Ulm 1823. S. 40 ff.

dagegen die Lichtflamme zwischen den geriebenen Glascylinder und den ersten Leiter, welcher an dem der Flamme zugekehrten Ende mit einer 1¼ Linien weiten, 1¼ Zoll langen, an ihrem vordern Ende recht glatt abgeschliffenen kupfernen Röhre versehen war, oder zwischen jene Kugel des Reibzeugs und einer zweiten, mit einer ähnlichen Röhre versehenen Leiter gebracht, so daſs die Röhre gegen die Mitte der Flamme gerichtet war und etwa 1 Zoll davon abstand, so nahm sie, wenn die Maschine in Bewegung gesetzt wurde, eine umgekehrte Richtung, wie im vorigen Versuche an, indem nunmehr der Bauch der Flamme gegen jene Röhre gezogen, die Spitze dagegen in dem einen Falle gegen den Glascylinder, in dem andern gegen die Kugel des Conductors des Reibzeugs gelenkt wurde. Diese Versuche sind in soferne wichtig, als sie eine gleiche Art der Wirkung sowohl des + E als des — E auf die Lichtflamme beweisen. Indessen haben andere Versuche ein solches ganz gleichmäſsiges Verhalten der beiden Elektricitäten gegen die Lichtflamme nicht bestätigt. Schon die oben angegebenen von Remer stimmen mit Röslin's Angaben nicht ganz überein, eben so wenig die von Cuthbertson angestellten[1]. Er isolirte zwei Drähte, welche sich mit Metallkugeln von etwa ¾ Zoll Durchmesser endigten, verband den einen mit dem positiven, den andern mit dem negativen Conductor einer Elektrisirmaschine, entfernte beide Kugeln etwa 4 Zoll von einander und setzte zwischen sie ein brennendes Licht, so daſs der Mittelpunct der Flamme sich ungefähr in der Mitte zwischen den Mittelpuncten beider Kugeln befand. Wurde nun die Maschine gedreht, so fing die Flamme an, sehr stark zu flattern, dabei schien sie sich nach der negativen Kugel hinzuneigen, doch war dies Letztere zweideutig. Wurde nun mit Drehen fortgefahren, so fing (bei einer Scheibe von 2 Fuſs Durchmesser etwa nach 50 Umdrehungen) die negative Kugel an, warm zu werden, indeſs die positive kalt blieb. Nach 200 Umdrehungen war die negative Kugel so heiſs, daſs man sie nicht mehr anfassen konnte, und die positive noch eben so kalt, als zu Anfange. Cuthbertson betrachtet diese Thatsache als ein Zeichen, daſs sich das el. Fluidum von der positiven nach der negativen Kugel hinbewege, und demnach als einen Beweis für die Richtigkeit der Frank-

1. Nicholsons Journal Vol. III. p. 188.

lin'schen Theorie. W. T. Brande[1] kam aber auf den Gedanken, dafs diese Erscheinung noch eine andere Erklärung zulasse, und zwar aus der elektrochemischen Theorie. Er fand bei Wiederholung des Versuchs, dafs wenn die Wirkung der Elektrisirmaschine nur schwach war, die negative Oberfläche nicht nur schneller heifs wurde als die positive, sondern auch die Flamme und den Rauch sichtbar anzog. Als er nun an die Stelle der Kerzenflamme brennenden Phosphor brachte, gab die Flamme desselben die umgekehrten Erscheinungen. Die positive Oberfläche wurde beträchtlich heifser als die negative, und die Flamme und der Rauch des Phosphors kräftig nach ihr hingezogen. Er schlofs hieraus, die Lichtflamme werde, weil sie Kohlenstoff und Wasserstoff in Menge enthalte, von dem *negativen* Pole angezogen, die Flamme und der Rauch des Phosphors dagegen von dem *positiven* Pole, weil beim Verbrennen des Phosphors Säure entstehe, und so würden diese Erscheinungen unmittelbare Folgen der bekannten Gesetze der elektrisch-chemischen Anziehungen seyn. Zur weiteren Bestätigung dieser Ansicht stellte Brande noch fernere Versuche an. Hierzu gebrauchte er ein kleines Tischchen, auf welches der brennende Körper gesetzt wurde, und an dessen entgegengesetzten Seiten auf isolirenden Säulen, die einander genähert oder von einander entfernt werden konnten, sich zwei hohle Kugeln aus dünnem Messingblech befanden, von denen jede die Kugel eines mit seiner ganzen Scala über sie hinausragenden Thermometers in sich schlofs. Die innere Seite des Messingblechs und die äufsere Seite der Thermometerkugeln war mit Lampenrufs matt geschwärzt, um das Aus- und Einströmen der Wärme zu erleichtern. Die eine Kugel wurde mit dem positiven, und die andere mit dem negativen Leiter einer kleinen Nairne'schen Patentmaschine in leitende Verbindung gesetzt, so dafs der ganze Apparat vollkommen isolirt war.

Zuerst leitete er zwischen die beiden Kugeln einen kleinen Strom ölerzeugendes Gas, und steckte ihn an; die Flamme wurde offenbar nach der negativen Kugel hingezogen. Sie blieb eine Minute lang brennen; beide Thermometer hatten vorher auf 60° Fr. gestanden; am Ende des Versuchs aber stand das in der positiven Kugel auf 62°, und das in der negativen Kugel

---

1 Philos. Trans. for 1814. P. I.

auf 72° F. Eine sehr kleine Flamme von Phosphor-Wasserstoffgas neigte sich ein wenig nach der positiven Kugel hin, und sie machte in einer Minute das positive Thermometer um 5° und das negative nur um 3° steigen. Eine gröfsere Flamme schien nach beiden Kugeln gleichmäfsig hingezogen zu werden, der saure Rauch zog aber immer nach der positiven Kugel. Die Flamme des Arsenikwasserstoffgases wurde von der negativen Kugel angezogen, der Rauch vom weifsen Arsenik aber, der während des Verbrennens entstand, wurde ein wenig nach der positiven Kugel gezogen. — Die Flamme des Wasserstoffgases gab nur einen geringen Ausschlag von gröfserer Erwärmung für die negative Kugel. Eine gröfsere Flamme von Kohlenoxydgas zog sich augenscheinlich nach der positiven Kugel, und nachdem jene 2 Minuten gebrannt hatte, war diese Kugel um $2\frac{1}{2}$ bis 3° F. wärmer, als die negative. Die Flamme des Schwefelkohlenstoffs wurde von der negativen Kugel angezogen, während die aufsteigenden sauren Dämpfe die entgegengesetzte Richtung nahmen. Ein kleiner Strom salzsaures Gas und ein ähnlicher von salpetersaurem Gas, welche Brande zwischen beide Kugeln treten liefs, verhielten sich auf ganz gleiche Art, sie wurden sogleich von der positiven Kugel angezogen, und dies wurde noch sichtlicher, wenn in die Luft um den Apparat Ammoniakgas gebracht wurde. Auch bei einer Entfernung der Kugeln von 6 Zoll wurde das Lakmuspapier, womit die Kugeln umkleidet waren, von einem in der Mitte zwischen beiden aufsteigenden Strome von salzsaurem Gase augenblicklich an der positiven Kugel geröthet, während das der negativen Kugel ihr Blau unverändert behielt. Die Flamme und der alkalische Rauch des zwischen beiden Kugeln verbrennenden Kalium's begab sich nach der negativen Kugel. Ammoniakgas gab keine recht deutliche Resultate, es schien von beiden Kugeln gleichmäfsig angezogen oder oder abgestofsen zu werden, und wenn gleich das Kurkumäpapier, womit die beiden Kugeln überzogen wurden, eher an der negativen Kugel bräunlich zu werden schien, so waren doch nach kurzer Zeit die Färbungen auf beiden Seiten gleich stark. Ein von mäfsig erhitztem Benzoe sich erhebender Dunst von Benzoesäure, schien von der positiven Kugel angezogen zu werden; als sich aber das Benzoeharz entzündete, wurden die Flamme und die ölige Materie sogleich zu der negativen hingezogen. Etwas reine Benzoesäure, die zwischen den

beiden Kugeln aus einer silbernen Schale sublimirt wurde, zog sich nach der positiven Kugel, sobald aber die Säure sich entzündete, nahm der rufsige Rauch den Weg zur negativen Kugel. Kampher und die Harze brennen bekanntlich mit vielem Rufs. Flamme und Rauch wurden von der positiven Kugel zurückgestofsen und von der negativen sehr deutlich angezogen, diese überzog sich bald dick mit Rufs, indefs die positive Kugel davon nur sehr wenig annahm. Der Bernstein verhielt sich nach Art des Benzoe. Bei blofser Schmelzung zogen sich seine sauren Dämpfe nach der positiven Kugel, sobald er sich aber entzündete, gingen die Flamme und der Rauch zur negativen Kugel. Bei diesen Versuchen kommt es vorzüglich darauf an, dafs die Luft ganz in Ruhe und die el. Kraft nur schwach sey; erregt man zu starke E., so werden Flamme und Rauch, besonders wenn sie isolirt sind, von beiden Kugeln abwechselnd angezogen und abgestofsen.

Die Resultate dieser Versuche liefern eine auffallende Uebereinstimmung des Verhaltens der Reibungselektricität mit demjenigen der Berührungselektricität, und deuten auf eine gleiche Ursache. So wie in der Gasentbindungsröhre die verbrennlichen und basischen Materien sich nach dem negativen, die verbrannten, und im engeren Sinne die aciden Materien sich nach dem positiven Pole hinziehen und diese Anziehung von dem relativen Gegensatze der el. Ladung dieser beiderlei Classen von Körpern abzuhängen scheint, so zeigte sich auch in obigen Versuchen die gleiche Beziehung. Insofern entscheiden dieselben an und für sich nichts wider die Franklin'sche Theorie, indem sie die Bewegungen der Flamme auf das allgemeine Gesetz der Anziehung *entgegengesetzt*, und der Zurückstofsung *gleichartig* elektrisirter Körper zurückführen[1].

2. Franklin glaubte zu bemerken, dafs der Funken zwischen der Schwefelkugel und seinem Finger sich über des letzteren Oberfläche zu verbreiten schien, als ob er aus dem Finger flösse; bei der Glaskugel aber war der Fall anders. Indefs sieht man leicht ein, dafs ein so zweideutiges Phänomen, vollends da die Verbreitung über eine Fläche ebensowohl Einfliefsen als Ausfliefsen anzeigen kann, unmöglich zum Entscheidungsgrunde eines Systems dienen kann.

---

1 Vergl. den Artikel: *Galvanismus*.

3. Er führt endlich an, dafs das Blasen negativer Spitzen schwächer sey, als das von positiven. Dies ist aber mehr wider ihn, indem er dadurch doch eingesteht, dafs negative Spitzen auch blasen, welches doch eher ein Ausströmen als ein Einströmen anzeigt. Höchstens folgte hieraus, dafs + E unter den gewöhnlichen Umständen sich leichter mittheile, als — E, sey es nun, dafs sie bei gleicher Quantität eine gröfsere Expansivkraft besitze, oder die Luft dieselbe weniger isolire. Die Anhänger Franklin's haben nach ihm mancherlei Versuche erdacht, um zu beweisen, dafs die Richtung der el. Bewegung oder Thätigkeit von der positiven Seite nach derjenigen hingehe, welcher die negative zukomme. Cavallo hat insbesondere mehrere solche Versuche geltend zu machen gesucht. Es hat aber keiner dieser Versuche die zur Entscheidung erforderliche Deutlichkeit. Bei allen wird eine fast ängstliche Sorgfalt empfohlen, wenn sie nicht fehlschlagen oder zweideutig erscheinen sollen; bei einigen wird sogar eingestanden, dafs das Resultat bald so, bald anders sey. Die Versuche, welche sich auf die Phänomene der Entladung der Leidner Flaschen beziehen, werden an ihrem Orte gewürdigt werden, und wir bemerken hier nur vorläufig, dafs, weit entfernt ein der Franklin'schen Theorie günstiges Resultat zu geben, einige derselben nicht wohl vereinbar mit derselben sind. Da wo die Lichterscheinungen über die Richtung und den Gang der E. entscheiden sollen, ist eine Täuschung leicht möglich, und die Bewegung ist gewöhnlich so rasch, dafs sie keine genaue Beobachtung zuläfst. Doch deuten selbst diese Phänomene mehr auf das Zusammentreffen zweier Materien, als auf eine einseitige Thätigkeit. So erscheint in der That der gewöhnliche el. Funken, der zwischen dem positiven Conductor und dem Knöchel des Fingers oder einer auffangenden Kugel ausbricht, aus zwei Hälften zusammengesetzt, die von beiden Seiten nach der Mitte zusammenfahren. An den Enden beider Seiten ist er dick und von intensiverem weifsem Lichte, in der Mitte schmäler mehr violett, fast kupferfarben, ja bisweilen ganz unterbrochen. Ebenso verhält sich die Sache, wenn zwischen dem negativ elektrisirten Conductor des Reibzeugs und einer Auffangkugel ein Funken durchbricht, nur dafs der Funken in diesem Falle unter gleichen Umständen stets kürzer ist[1].

---

1 S. *Funken, el.*

Van Marum glaubte aus folgenden mit der grofsen Taylerschen Maschine angestellten Versuchen ein entscheidendes Argument für die Franklin'sche Theorie erhalten zu haben. Setzt man nämlich bei günstiger Witterung die Maschine in Bewegung, und stellt vor den Haupt-Conductor einen zweiten, so sieht man im Dunkeln einen Funken zwischen beiden hervorspringen, welcher statt einen einzigen Feuerstrahl zu bilden, (wie dieses bei schwächeren Maschinen der Fall ist) sich beim Ueberspringen in eine grofse Zahl von Aesten theilt, welche die Figur eines Baumes annehmen, wovon der Stamm gegen den positiv geladenen Conductor gerichtet ist, die Aeste aber gegen den zweiten (relativ negativen) Conductor gewendet sind. Um aber den Beweis ganz entscheidend zu machen, verband er den Hauptconductor mit dem Reibzeuge, der dadurch negativ geladen wurde, und liefs einen Funken auf einen zweiten mit dem Erdboden in Verbindung stehenden Leiter springen. Auch in diesem Falle sprang der Funken nicht minder sichtbar in getheilten Strahlen von dem nicht elektrisirten Conductor, zu dem negativ elektrisirten. Die Aeste des Funkens waren nicht so lang, wie im ersten Versuche, aber eben so deutlich[1]. Diesem letzteren Versuche steht aber ein von G. Bischoff[2] angestellter geradezu entgegen, und hebt eben damit die Beweiskraft des ersteren auf. Es diente ihm zu demselben eine Cylindermaschine, an welche der erste oder positive Leiter und derjenige des Reibzeugs einander ganz gleich waren. Steckte er zuerst auf den positiv elektrisirten Conductor, während der des Reibzeugs mit dem Erdboden in leitender Verbindung war, einen messingenen Knopf von ungefähr ¾ Zoll Durchmesser, und näherte er demselben einen mit einem gleichen Knopfe versehenen messingenen Leiter, den er in der Hand hielt, so sprang in einer gewissen Entfernung ein Funken über, der ungefähr ¾ Zoll lang einen einzigen Feuerstrahl bildete, dann oben in zwei Aeste sich theilte, welche auf ihrem fortgesetzten Wege in immer mehrere Aeste zertheilt wurden; in gröfserer oder geringerer Entfernung zeigte sich blofs ein einziger Feuerstrahl. Steckte er hingegen jenen Knopf auf den Conductor des Reibzeugs, und verband den andern Conductor leitend mit dem Erdboden, so war ganz dieselbe

1 Schweigg. Journ. XXIX. 475.
2 Kastner's Arch. II. 207.

Erscheinung wahrzunehmen, nur in umgekehrter Richtung, die Aeste waren gegen den in der Hand gehaltenen Leiter, und der Stamm gegen den negativ elektrisirten Conductor gekehrt. Ich selbst habe öfters ein ähnliches Phänomen beobachtet, daſs nämlich bei Annäherung eines mit einer nicht zu groſsen Kugel versehenen metallenen Leiters, den ich in der Hand hielt, gegen den negativ elektrisirten Conductor des Reibzeugs von jener Kugel mehrere Aeste, die gleichsam die Krone eines Baumes vorstellten, hervorsprangen, die gegen den negativen Leiter convergirten, und dicht an demselben in einem Stamme sich vereinigten. Man sieht hieraus, daſs der van Marum'sche Beweis gegen die dualistische Theorie gänzlich über den Haufen fällt, denn es würde ganz willkürlich seyn, in dem einen Falle die Aeste als eine Divergenz, in dem andern als eine Convergenzbewegung anzunehmen.

Dieselbe Bewandtniſs hat es mit den el. Lichtphänomenen in der verdünnten Luft, an welchen die Franklinianer einen so augenscheinlichen Beweis der einseitigen Richtung der Bewegung von der positiven nach der negativen Seite zu besitzen glauben. Cavallo beruft sich besonders auf einen Versuch, wo zwei Metallstäbe mit Kugeln von etwa zwei Zoll Durchmesser in einer Entfernung von 4 Zollen oder noch besser etwas darüber einander unter einer Glocke gegenüberstehen, wo nach dem Exantliren sich nur um die positive Kugel ein Lichtschein zeigen soll, mag dieselbe unmittelbar positiv elektrisirt oder dadurch positiv seyn, daſs man die ihr gegenüberstehende Kugel negativ elektrisirt, welche letztere auch in diesem Falle nichts von einer leuchtenden Atmosphäre zeigt[1]. Hingen die el. Erscheinungen von zwei Materien ab, so müſsten um beide Kugeln sich leuchtende Atmosphären zeigen, wenigstens auf jeden Fall auch eine um die negativ elektrisirte Kugel. Mit dieser Angabe Cavallo's stimmen aber so wenig meine eigenen als die Versuche anderer Experimentatoren überein. Insbesondere hat Hildebrand[2] eine groſse Reihe von Versuchen angestellt, aus welchen hervorgeht, daſs zwar in der verdünnten Luft der Lichtnimbus und die Lichtströme sich vorherrschend von der positiven Kugel aus verbreiten, daſs aber auch an der negativen ein nur beschränkterer Lichtnimbus und Lichtaus-

1 Vollständige Abhandlung etc. S. 206. ff.

2 Schweigg. J. I. 237.

flufs sich zeigt. Es findet in dieser Hinsicht im Wesentlichen ganz dasselbe Verhältnifs statt, wie zwischen den Lichtausbreitungen der positiven und negativen Spitzen. CAVALLO selbst bestätigt dieses in der Beschreibung der Lichterscheinungen, welche der leuchtende oder sogenannte Henly'sche Leiter darbietet[1], ja RÖSLIN will aus den el. Phänomenen in der verdünnten Luft gerade den *Gegenbeweis* führen[2]. Auf 10 Seiten hat indefs dieser weitschweifige Schriftsteller zu den bereits von so vielen Beobachtern schon früher beschriebenen nichts Neues hinzugefügt, sondern nur wieder bestätigt gefunden, dafs ebensowohl aus einer negativ elektrisirten abgestumpften Spitze ein kegelförmiger violetter Lichtstrom ausgeht, als aus der positiven, dafs ersterer vielmehr ausgebreitet ist, als in Luft von mittlerer Dichtigkeit, dafs jedoch der positive Lichtstrom unter gleichen Umständen denselben an Länge bedeutend übertrifft, dafs, wenn der Abstand der Spitzen nicht zu grofs ist, und der eine Draht + der andere — elektrisirt wird, beide Ströme sich in der Mitte begegnen u. s. w. Bei einer unpartheiischen Würdigung der so mannigfaltigen Versuche über die el. Lichtströme gelangt man zu dem Resultate, dafs der Augenschein mehr für ein Ausströmen und Entgegenströmen von zwei Seiten her, als für ein einseitiges Ausströmen von einer einzigen Seite her spricht.

Es spricht ferner gegen die Franklin'sche Theorie die so vollkommene Gleichheit der Erscheinungen der Abstofsung positiv und negativ el. Körper, welche augenscheinlich auf eine gleiche Ursache in beiden Fällen hinweiset, wie sie die dualistische Theorie in der, beiden Arten von E. gleichmäfsig zukommenden, Repulsivkraft aufstellt, während FRANKLIN zur Erklärung der wechselseitigen Abstofsung negativ el. Körper ein ganz anderes Princip zu Hülfe nahm. Zwar hat VAN MARUM dieser Einwendung dadurch zu begegnen gesucht[3], dafs er diese Abstofsung in beiden Fällen auf eine Anziehung zurückführte, indem die umgebenden Lufttheilchen, die in einem relativ negativen Zustande sich befinden, gegen das im Ueberschusse vorhandene el. Fluidum der positiv el. Körper, und somit gegen diese selbst, eine ähnliche Anziehung ausüben sollen, wie bei den negativ el. Körpern die relativ überschüssige

1 a. a. O. S. 201.
2 Kritische Prüfungen u. s. w. S. 51—61.
3 Schweigg. Journal der Ch. XXIX. 479.

E. der umgebenden Luft gegen die Materie dieser Körper ausübt; indeſs kommt bei den positiv el. Körpern die eigene Repulsivkraft der Theilchen ihres el. Fluidums noch als eine zweite Ursache hinzu, die der Abstoſsung in diesem Falle doch eine etwas andere Gestalt geben sollte. Hierzu kommt, daſs wenn man die Lehre von einer einzigen el. Materie zur genauen und der Berechnung fähigen Erklärung der Erscheinungen anwenden will, man durchaus mit *Aepinus* zu der sonderbaren Hypothese seine Zuflucht nehmen muſs, daſs die Theilchen der Körper sich einander auf Entfernung gerade wie die Theilchen der E. unter einander zurückstoſsen, und daſs es nur von der Gegenwart des el. Fluidums herrührt, daſs die Theilchen aller Körper auf einander nicht eine der allgemeinen Gravitation entgegengesetzte Wirkung ausüben. Eben so wenig ist es aus der Theorie einer einzigen Materie, deren Theilchen von den Theilchen der Körper selbst angezogen werden, zu begreifen, warum die E. auf den Oberflächen der Leiter sich nach Verhältnissen verbreitet, die ganz unabhängig sind von ihrer chemischen Natur und ganz allein durch ihre Dimensionen bestimmt sind, warum ferner die negative E., die doch nur eine Beraubung, ein Mangel an E. ist, bloſs auf der Oberfläche dieser Körper zum Vorschein käme, und in jedem Puncte dieser Oberfläche sich ganz in Gemäſsheit von strengen hydrostatischen Gesetzen verhalten sollte, von Gesetzen, welche ein wirkliches Fluidum befolgen würde, dessen Theilchen sich nach dem umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernungen zurückstoſsen.

Dasselbe gilbt ferner auch von den besondern Modificationen der Verbreitung der beiden Elektricitäten auf den Oberflächen der Leiter nach Verschiedenheit ihrer Gestalt, wenn sie in Berührung kommen oder aus derselben treten, welche die Rechnung aus der Hypothese zweier Materien mit Genauigkeit entwickeln, und wovon Biot[1] interessante Belege liefert, während sich der Theorie *einer* Materie hierbei die gröſsten Schwierigkeiten entgegensetzen. Endlich scheinen noch besonders diejenigen Erscheinungen, in welchen die Körper mit ihren kleinsten Theilchen in ein Verhältniſs mit der E. treten, wie bei der Durchleitung eines el. Stroms durch Flüssigkeiten aller

1 S. a. a. O. vorzügl. Chap. 4 u. 5. S. 280.

Art in den Galvanischen Versuchen, auf ein verschiedenes chemisches Anziehungsverhältniſs dieser kleinsten Theilchen gegen die beiderlei Arten von E. hinzudeuten, was mit der Annahme, daſs die negative E. in einem bloſsen Mangel besteht, nicht wohl vereinbar ist, wohin denn auch noch die Erscheinungen des specifischen Leitungsvermögens gewisser Körper für die beiderlei Arten von E. gehören, wovon unter *Galvanismus* und *Leiter* noch weiter die Rede seyn wird.

Eben wegen der groſsen Leichtigkeit, womit die mannigfaltigsten el. Erscheinungen nach der Theorie zweier Materien erklärt werden können, ist schon Wilke, der sonst in den Erklärungen dem Franklin'schen Systeme sehr glücklich folgte und zur weiteren Ausschmückung desselben beigetragen hat, seit seinen im Jahre 1762 und 1763 angestellten Versuchen [1] über die entgegengesetzten Elektricitäten mehr auf die Seite der Symmer'schen Theorie getreten, und hat sich nachher in seinen Abhandlungen über den Elektrophor [2] noch bestimmter dafür erklärt. Auch nahmen schon in früherer Zeit Bergmann [3] Kratzenstein [4] Karsten [5] und Forster [6] lieber zwei verschiedene el. Materien, als eine einzige an. Lichtenberg schlug zwar vor, die Phänomene durch die Bezeichnungen + und — zu erklären, welche man nach beiden Systemen übersetzen kann, doch räumte er gleichfells dar Symmer'schen Theorie den Vorzug ein. Durch die Entdeckung des Galvanismus hat endlich die dualistische Theorie das entschiedenste Uebergewicht über die Franklin'sche erhalten. Die französischen, die meisten deutschen und englischen Physiker haben sich für dieselbe erklärt, doch glänzen auch noch auf Seiten der Unitarier einige groſse Namen, und schon die Autorität eines Volta, jenes ruhmbedeckten Nacheiferers von Franklin würde sehr entscheidend seyn, wenn nicht die Macht der Gründe entgegenstände.

---

1 Schwed. Abhandl. Bd. 23. S. 271 und Bd. 25. S. 207 u. f.

2 S. ebend. Bd. 39. S. 68.

3 Ebend. für 1765 Bd. 27. S. 145.

4 Vorlesungen über die Experimentalphysik. Copenh. 1781. 8. S. 151.

5 Anleitung zur gemeinnützlichen Kenntniſs der Natur. Halle 1783. 8. S. 497.

6 S. v. Crell's neueste Entdeckungen in der Chemie 12 Bd. S. 154

IX. Vorstellungsarten der Physiker über das eigentliche Wesen der el. Materie und jetziger Standpunct der Elektricitätslehre in dieser Hinsicht.

In der letzten Abtheilung haben wir die Theorie der el. Erscheinungen nur im Allgemeinen und zunächst blofs aus dem Gesichtspuncte einer bewegenden Kraft betrachtet, um die Gesetze der Anziehung und Abstofsung, der Leitung, Vertheilung u. s. w. aus dem Wesen dieser Kraft nach den beiden Hauptansichten begreiflich zu machen. Aber eine Menge von Verhältnissen bleiben noch zu erklären, die nur dadurch klar werden können, dafs auch das Specifische dieser Kraft etwas näher bestimmt wird. Wovon hängen die Geruchs - die Geschmacks -, die Wärme - und Lichtserscheinungen ab, die in so vielen Fällen jene el. Bewegungen begleiten; wie wird das Hervortreten bald der negativen, bald der positiven E. durch die Beziehung der besondern Natur der Körper auf das innere Grundwesen der E. und auf das Verschiedene in diesem Grundwesen zweier Elektricitäten bestimmt; welchen Antheil haben die übrigen Inponderabilien an der Entstehung und Zusammensetzung der E.; in welcher Verwandtschaft und Abhängigkeit stehen sie überhaupt mit und von einander; wie hat man sich das 0 zu denken, welches nach der dualistischen Theorie aus zwei Realitäten, aus einem eben so positiven — als positiven + besteht u. s. w., alles das sind Fragen und Aufgaben, die sehr frühzeitig den Scharfsinn der Physiker in Anspruch genommen haben, und worüber die Hypothesen viel mannigfaltiger und von einander abweichender ausfallen mufsten, als jene allgemeinen Bestimmungen, die nur zwei Partheien zuliefsen. Zur Vervollständigung dieses die E. überhaupt betreffenden Artikels wird es daher nothwendig seyn, von diesen verschiedenen Theorien, soferne sie durch den Namen des Erfinders und ihren innern Gehalt Anspruch auf ein allgemeines Interesse haben, wenigstens die Hauptumrisse zu geben, und sie mit wenigen Noten kritisch zu beleuchten.

Die ältesten Beobachter hielten die el. Materie für einen *ölichten Ausflufs* aus den Körpern selbst; als man aber ihr Licht, ihren Funken, ihre zündende Kraft u. s. w. bemerkte, war es sehr natürlich, sie dem *Feuer* ähnlich zu finden, und daher kommt die Benennung des el. Feuers, welche bei den

physikalischen Schriftstellern seit GRAY's Zeiten so gewöhnlich geworden ist. So sehr nun verschiedene Wirkungen der E. mit den Wirkungen des Feuers übereinstimmen, so konnte doch auch selbst dem oberflächlichen Beobachter die Verschiedenheit zwischen diesen beiden Kräften nicht entgehen, auch wenn er nur darauf Rücksicht nahm, daſs oft in den Körpern viel Feuer oder Wärme anzutreffen ist, ohne daſs sie einen eigentlichen Grad der E. zeigen, daſs das Feuer durch alle bekannte Körper hindurch dringt und sich nach gewissen Verhältnissen der besondern Natur dieser Körper durch ihre ganze Masse verbreitet, da hingegen die freie el. Materie die längsten Leiter mit einer auſserordentlichen Geschwindigkeit durchströmt, daſs endlich die el. Materie Anziehungs- und Abstoſsungs Erscheinungen aus der Ferne hervorbringt, die in der Sphäre der Feuer- oder Wärmeerscheinungen ganz fehlen.

ACHARD [1] hat jedoch mehr die Aehnlichkeiten der E. mit der Wärme als ihre Verschiedenheiten aufgefaſst, und in einer eigenen Abhandlung zusammengestellt. Er bemerkt, daſs alles Reiben sowohl E. als Wärme errege, daſs Wärme sowohl als E. die Körper ausdehne, die Vegetation und Ausdünstung befördere und den Umlauf des Bluts beschleunige, daſs beide das Ausbrüten der Eier bewirken, Metalle schmelzen und sich gleichförmig durch die Körper zu verbreiten streben, daſs endlich eben die Körper, welche die Wärme am schnellsten annehmen und verlieren, auch die E. am schnellsten annehmen und leiten. Wie manches Irrige indeſs in dieser Zusammenstellung liege, ergiebt sich aus einer Vergleichung mit den bisher mitgetheilten Erfahrungen.

Dr. PRIESTLEY [2] findet, daſs der el. Funke, wenn er in verschiedene Luftgattungen geht, einerlei Wirkungen mit einem zugesetzten Phlogiston hervorbringe, und nimmt diesem gemäſs an, daſs die el. Materie entweder das *Phlogiston* selbst sey oder dergleichen enthalte. J. F. MAYER [3] hält dagegen seine fette Säure für den Hauptbestandtheil der el. Materie, die

1 Mém. de l'academie de Prusse 1779.

2 Observ. on different Kinds of air. Vol. II. Sect. 13.

3 In seiner zu ihrer Zeit nicht uninteressanten Schrift: Chemische Versuche zur nähern Erkenntniſs des ungelöschten Kalks, der elastischen und el. Materie 2. verb. Aufl. Hannover 1770.

beim Reiben des Glases, das einen ansehnlichen Vorrath davon enthalte, aus demselben heraustrete. Beide Ansichten beruhten auf chimärischen Vorstellungen, die längst widerlegt sind, und trugen auch damals nichts zur weitern Aufklärung der Elektricitätslehre bei. Henly [1] sieht die el. Materie für eine besondere Modification eben desjenigen Grundstoffes an, der im Zustande der Ruhe *Phlogiston*, bei gewaltsamer Bewegung aber *Feuer* genannt werde. Er beruft sich darauf, daſs beim Reiben solcher Körper, welche verschiedene Mengen von Phlogiston enthalten, diejenigen, welche viel Phlogiston enthalten (z. B. vegetabilische Materien) die el. Materie abgeben, d. h. negativ el. werden, daſs hingegen diejenigen, welche wenig Phlogiston enthalten (z. B. animalische Materie) el. Materie annehmen, d. i. eine positive E. erhalten. Henly hat zahlreiche Versuche angestellt, welche zu diesem Resultate führten [2]. Da indeſs die bloſse Abänderung der Oberfläche eines Körpers sein el. Verhalten beim Reiben ändert, so ist kaum abzusehen, wie der gröſsere oder kleinere Gehalt von Phlogiston, wenn man auch diesen bloſs hypothetischen Stoff zugeben wollte, den negativen oder positiven Charakter eines Körpers bestimmen solle. Auch steht dieser Ansicht der Umstand entgegen, daſs in der wechselseitigen Berührung gerade die am meisten verbrennlichen oder am meisten oxydirbaren Metalle, die also in Henly's Vorstellungsart am meisten Phlogiston enthalten, die positiven sind. Endlich giebt diese Theorie, die nur *eine* el. Materie annimmt, keine Rechenschaft von den specifischen Eigenschaften der negativen E.

Alle diejenigen Physiker, welche zwei verschiedene el. Materien annahmen, muſsten von selbst darauf geführt werden, Gegensätze, welche sich auch sonst in der Natur in andern Processen und zwischen andern Materien zeigen, zur Aufklärung des el. Gegensatzes zu gebrauchen und in den el. Materien gleichsam eine Potenzirung und Verfeinerung dieser Gegensätze zu suchen. So nimmt zuerst Wilke in den beiden el. Materien einen Gegensatz zwischen Feuer und Säure an, und hat auch in seinen oben angeführten Abhandlungen statt der Bezeichnungen + E und — E stets die Namen Feuer und Säure

1 Cavallo vollst. Abh. I. Bd. S. 108.
2 Philos. Transact. für das Jahr 1777.

gebraucht. Doch lag hierin nur eine Ahnung, die erst die neusten Zeiten zur Reife bringen konnten. Dieselbe Bewandnifs hat es mit Kratzensteins damit verwandter Vorstellungsart [1]. Er nennt + E die acide, — E die phlogistische E. und leitet alle el. Erscheinungen von Dunstkreisen her, die aus feinen Theilen des Acidums und des Phlogistons, d. i. aus schwefligen und phosphorischen Ausflüssen bestehen, die aus den Körpern herausgetrieben und in eine zitternde Bewegung versetzt werden. Lichtenberg [2] giebt von dieser Theorie einen sehr lehrreichen Auszug mit seinen Bemerkungen begleitet. Karsten [3] nimmt den Stoff der + E für reine, mit Elementarfeuer gesättigte, Luft, den des — E für das an eine zarte Säure gebundene Phlogiston, und erklärt hieraus die Hauptgesetze der E. sinnreich in völliger Uebereinstimmung mit Crawford's Theorie der Verbrennung, Er glaubte das Daseyn jener 4 Materien unwidersprechlich in dem Conflicte der beiden el. Materien nachweisen, und diesen Conflict selbst genügend aus der wechselseitigen Anziehung dieser Materie begreiflich machen zu können. Beim el. Funken zieht seiner Erklärung zufolge das Feuer die Säure, die Luft das Phlogiston an; alle diese Stoffe verlassen ihre vorigen Verbindungen, das Feuer vom Phlogiston getrennt, wird frei und als ein Funken sichtbar, die Säure röthet die Lakmustinctur, und die Luft wird plogistisirt. Schade dafs neuere genaue Untersuchungen zu einer ganz andern Ableitung dieser Erscheinungen geführt haben, da nicht eine der E. inhärirende Säure, sondern die Salpetersäure, die sich durch Verbindung des Stickstoffs der Luft, durch welche der Funken schlägt, mit dem Sauerstoff derselben bildet, die Röthung der Lakmustinctur bewirkt, die eingebildete Phlogistication auch weiter nichts als auf einer Bindung des vorher freien Sauerstoffs in der gebildeten Salpetersäure beruht, womit nothwendig ein Uebergewicht von Stickgas (damals sogenannter phlogistisirter Luft) in der rückständigen Luft gegeben ist, endlich der Funken, so wie er sich darstellt, mit gewöhnlichem Feuer nicht zu verwechseln ist.

---

1 Vorles. über die Exper. Phys. 4. Aufl. Copenh. 1781. 8.

2 Magazin für das Neueste aus der Physik. I. Bd. 4 St. S. 113.

3 Anl. zur gemeinnützigen Kenntnifs der Natur §. 497.

Ohngefähr auf dieselbe Weise äufsert sich FORSTER [1], indem er das + E für Feuer oder Wärme, das — E für Brennbares oder Phlogiston erklärt. Indem aber FORSTER in seinen einleitenden Bemerkungen zu dieser Hypothese der damals herrschenden Crawford'schen Verbrennungstheorie gemäfs das Phlogiston und die Wärmematerie (das Feuer) als zwei einander entgegengesetzte Grundstoffe betrachtet, die sich wechselseitig aus den Körpern austreiben, so steht offenbar diese Hypothese mit allen el. Phänomenen, welche vielmehr eine grofse wechselseitige Anziehung der beiderlei Elektricitäten beweisen, in geradem Widerspruche, wozu dann noch kommt, dafs gar nicht abzusehen ist, warum dieselbe Wärmematerie, die sonst die Körper durchdringt, hier als positive E. sich nur längs ihrer Oberfläche verbreitet und anhäuft, ohne in ihr Inneres einzudringen.

Bedeutender ist DE LÜC's Theorie der el. Phänomene, da sie nicht blofs in einer vagen, mehr allgemein gehaltenen, Idee besteht, sondern von dem sinnreichen Verfasser auf die Erklärung der wichtigsten el. Phänomene mit Genauigkeit angewandt worden ist, und im eigentlichsten Verstande nur einen Zweig eines weit ausgebreiteten Systems ausmacht, welches jener Physiker über die Erscheinungen der sämmtlichen ausdehnbaren Flüssigkeiten entworfen, und auf die mechanisch-physischen Grundsätze seines berühmten Lehrers LE SAGE in Genf gegründet hat. Diese Grundsätze, welche alles auf Stofs und Bewegung zurückführen, haben freilich ein sehr cartesianisches Ansehen, und können dem unbefangenen Physiker, dem es nach NEWTON's Beispiele mehr um erwiesene Thatsachen und Gesetze, als um willkürliche Hypothesen, die in ihren Voraussetzungen über die Grenze unserer unmittelbaren Wahrnehmung hinausgehen, kein grofses Interesse einflöfsen. Inzwischen ist nicht zu leugnen, dafs DE LÜC durch eben diese mechanische Physik oft auf sehr scharfsinnige und bisweilen auffallend glückliche Erklärungen schwieriger Phänomene geleitet wird — noch mehr, es ist sonderbar, dafs seine aus einem so ganz mechanischen Anfange hergeleiteten Theorien dennoch eine für die chemische Untersuchung ungemein günstige Wen-

1 Crell's neueste Entdeckungen. 12 Bd. S. 154.
2 Vergl. *Flüssigkeiten, expansible.*

dung nehmen. In dieser Hinsicht hat auch die de Lüc'sche Ansicht der E. ihren unverkennbaren Werth, indem sie Zersezzung und Zusammensetzung des el. Fluidums zu Hülfe nimmt, und eine Betrachtung der Erscheinungen in dieser Beziehung vielleicht zu einer nähern chemischen Kenntnifs dieses räthselhaften Stoffs führen kann, ohne welche die wichtigsten Beziehungen der el. Thätigkeit in den Natur-Processen, besonders in den galvanisch-chemischen, stets im Dunkel begraben bleiben werden.

Die Hauptidee der De Lüc'schen Hypothese [1] ist, dafs er zwar nur *eine* el. Materie annimmt, diese aber als eine zusammengesetzte betrachtet und in den el. Phänomenen sich einerseits zersetzen, andererseits wieder aus ihren Bestandtheilen zusammensetzen läfst, wodurch er gleichsam in der Mitte zwischen dem Franklin'schen und dualistischen Systeme steht. Diese eine el. Materie sieht er als eine zur Classe der Dämpfe oder Dünste gehörige an, bei welcher sich also alle diejenigen Bestimmungen nachweisen lassen müssen, welche für die Dünste im allgemeinen gelten; und da die Natur des Wasserdampfes in dieser Hinsicht am meisten aufgeklärt ist, so sucht DE LÜC durch eine durchgreifende Vergleichnug der el. Meterie mit dem Wasserdampfe nach allen Praedicamenten auch die Natur der ersteren in ein helleres Licht zu stellen. Daraus ergeben sich nun folgende Sätze:

1. Das el. Fluidum besteht wie der Wasserdampf aus einem *fortleitenden* (gleichsam expandirenden) *Fluidum* (fluide déferent), das er das el. fortleitende Fluidum nennt, und aus einer *blofs schweren Substanz* der eigentlich el. Materie.

2. Es zersetzt sich eben so wie der Wasserdampf durch Druck (den es gleichsam auf sich selbst ausübt), wenn es eine allzugrofse, sein Maximum überschreitende, Dichtigkeit erhält, wo alsdann sein fortleitendes Fluidum frei wird. Auf dieser Eigenschaft beruht die Erscheinung des el. Lichtes, welches

---

1 Neue Ideen über die Meteorologie. Berl. und Settin 1787. 1. Thl. S. 186. ff. nach welcher hier die Hauptsache kurz mitgetheilt wird. Vergl. auch Lampadius Versuche und Beobachtungen über die E. und Wärme der Atmosphäre, Berl. und Stettin 1793. Kap. II. §. 20 u. f.; ferner de Lüc's 5ten Brief an Herrn de la Métherie über das el. Fluidum in Gren's Journal der Physik IV. Band S. 91. und De Lüc Introduction à la Physique terrestre Tome. I. II.

als ein Bestandtheil des frei werdenden fortleitenden Fluidums bei der Zersetzung hervorgeht, eben so wie das Licht (das fortleitende Fluidum in der Wärme) beim Verbrennen (durch eine Zersetzung des sehr verdichteten Wärmedampfs) zum Vorschein kommt.

3. Das Feuer als fortleitendes Fluidum des Wasserdampfs verläfst das Wasser in Folge seines Strebens nach gleichförmiger Verbreitung (nach gleicher Temperatur). Eben so, nur weit schneller, verläfst das fortleitende el. Fluidum die el. Materie, um zu den Körpern hinzuströmen, welche verhältnifsmäfsig weniger davon besitzen.

4. So wie das Feuer der Wasserdämpfe alle Körper durchdringt, um sich ins Gleichgewicht zu setzen, und sein Wasser auf der Oberfläche derselben absetzt, eben so, aber augenblicklich, durchdringt das el. fortleitende Fluidum alle Körper, um sein Gleichgewicht wieder herzustellen und setzt gleichfalls seine el. Materie auf den Körpern ab, die es durchdringt, aber mit einem auf der Natur der Substanzen, beruhenden Unterschiede.

5. Gebundenes oder latentes Feuer und Wasser in den Dünsten geben sich nicht mehr durch ihre vorigen Eigenschaften zu erkennen, äufsern aber dennoch ihre Verwandtschaften, wodurch sie die hygroskopischen Erscheinungen erzeugen. Auch die Bestandtheile des el. Fluidums behalten bei ihrer Verbindung ihren Hang und ihre Verwandtschaften zu andern Substanzen, welches die Ursache der meisten el. Erscheinungen ist.

6. Das Wasser und die el. Materie, die vorzüglich ihre Verwandtschaften behalten, sind einander auch darin ähnlich, dafs so wie das Wasser diese Verwandtschaft in den hygroskopischen Phänomenen ohne Wahl äufsert, eben so auch die el. Materie ohne Wahl ihre Verwandtschaft zu andern Substanzen zeigt.

7. Wenn das Feuer eine Masse von Wasserdünsten verläfst, um das Gleichgewicht der Temperatur wieder herzustellen, so bleibt dennoch etwas an dem Orte, wo das meiste dieser Dünste ist, aber ein Theil dieses Fluidums wird latent; ebenso, wenn das Gleichgewicht des fortleitenden el. Fluidums in den benachbarten Körpern wieder hergestellt ist, enthalten diejenigen, welche verhältnifsmäfsig mehr el. Materie haben, das meiste von diesem fortleitenden Fluidum, aber dieser Ueberschufs ist gleichfalls in dem el. Fluidum verborgen.

8. So wie die ausdehnende Kraft zweier Massen von Wasserdämpfen im Gleichgewicht seyn kann, obgleich die eine weniger Wasser als die andere im Verhältniſs mit ihrem Volumen enthält, wenn bei letzterer zugleich die Menge des Feuers gröſser ist, eben so kann die ausdehnende Kraft (die Intensität oder Spannung) zweier Massen des el. Fluidums im Gleichgewichte seyn, obgleich die eine eine geringere verhältmäſsige Menge el. Materien besitzt, wenn nur zu gleicher Zeit die Menge ihres fortleitenden Fluidums gröſser ist. Die vorzüglichsten *Unterschiede*, worin das el. Fluidum von den Wasserdämpfen abweicht, sind folgende:

1. das Feuer, welches die Wasserdämpfe verläſst, um das Gleichgewicht der äuſseren Temperatur herzustellen, wird nicht durch andere Substanzen angezogen, sondern dehnt sich so lange aus, bis es im Gleichgewichte ist. Das el. fortleitende Fluidum hingegen, welches seine el. Materie verläſst, wird zu dieser Bewegung durch seinen Hang zu allen Substanzen bestimmt, und weil in diesem Augenblicke eine benachbarte weniger davon besitzt, als diejenige, wovon es sich trennt.

2. die Verwandtschaft des Wassers, wodurch eine Zersezzung des Wasserdampfes bewirkt wird (oben N. 6), bezieht sich nur auf die hygroskopischen Substanzen, statt daſs die analoge Verwandtschaft der el. Materie alle Substanzen betrifft, selbst die Dämpfe und luftförmigen Flüssigkeiten.

3. Die Verwandtschaft des Wassers gegen hygroskopische Substanzen äuſsert sich nur dann, wenn es dieselben berührt, die el. Materie hingegen äuſsert ihren Hang zu allen Substanzen schon in Entfernungen, welche nach der verschiedenen Beschaffenheit der Körper verschieden sind.

4. Da jede el. Lichtentwickelung nach De Lüc von einer Zersetzung der E. abhängt, dessen fortleitendes Fluidum frei wird, so liegt zwischen beiden auch darin eine Verschiedenheit, daſs das el. Fluidum durch die bloſse Ausbreitung im leeren Raume sich zersetzt, ohne daſs man hierbei einen Druck, den es in Folge der Verdichtung auf sich selbst ausübt, annehmen könnte, während die Wasserdämpfe sich unter sonst gleichen Umständen im leeren Raume nicht anders wie im lufterfüllten Raume verhalten.

De Lüc hat diese allgemeine Theorie sehr sinnreich auf die Erklärung der wichtigsten Wirkungsformen der E. ange-

wandt, insbesondere der Erscheinungen der Vertheilung und der davon abhängigen verstärkten E. in dem Vorgange der Ladung [1]. Im Allgemeinen erklärt er die Erscheinungen der el. *Wirkungskreise*, oder wie er sie nennt, der el. *Einflüsse*, von welchen die Vertheilung abhängt, auf folgende Weise. Positive und negative E. unterscheiden sich durch verhältnifsmäfsigen Ueberflufs und Mangel an el. Materie bei übrigens gleicher ausdehnender Kraft, oder positive E. ist das Analogon von dichterem Wasserdampf, der also, bei gleichen Volumen mehr von der schweren Materie hat, als der dünnere Wasserdampf, welcher mit der negativen E. überein kommt, und um jenem das Gleichgewicht zu halten, eine gröfsere Menge fortleitendes Fluidum besitzen mufs. Doch kann nach seinem System ein Körper auch dadurch positiv el. werden, dafs sich überhaupt mehr el. Fluidum an seiner Oberfläche angehäuft hat, als seinem natürlichen Zustande zukommt. Wenn nun in den Wir-
Fig. 34. kungskreis des positiv elektrisirten Leiters P C der isolirte Leiter AB kommt, so wird sein fortleitendes Fluidum in derselben überströmen nach dem allgemeinen Gesetze des Strebens desselben nach Gleichgewicht, aber das Ende A ist dieser Wirkung mehr als B ausgesetzt, daher wird die dem Leiter AB eigene el. Materie bei A mehr ausdehnende Kraft als bei B erhalten; da aber hier nichts ist, was sie hinderte, sich ins Gleichgewicht zu setzen, so wird sie sich so vertheilen, dafs die ausdehnende Kraft durch die ganze Länge AB gleich grofs ist, woraus dann nothwendig folgt, dafs bei A mehr fortleitendes Fluidum und weniger Dichtigkeit der el. Materie, bei B hingegen weniger fortleitendes Fluidum und mehr Dichtigkeit der Materie Statt finden mufs. Daher zeigt unter diesen Umständen A, — E; B, + E. Um diesen Vorgang durch die Analogie mit den Wasserdämpfen noch deutlicher zu machen, vergleiche man AB mit Wasserdämpfen in einem verschlossenen Gefäfse, die von C aus durch ein heftiges Feuer erhitzt werden. Anfangs werden die Dämpfe durch den ganzen Raum AB gleichförmig verbreitet seyn. Wenn aber nun das Feuer von C her wirkt, so wird das Ende A heifser als B, und die Dämpfe in A erhalten mehr Elasticität. Sie dehnen sich also aus, und drükken dagegen die in B mehr zusammen, so dafs sich bei A we-

1 Vergl. *Flasche, elektrische.*

niger, bei B mehr Dichtigkeit oder Wasser (schwere Materie) befindet, die Hitze aber umgekehehrt bei A grösser als bei B ist. In diesem Zustande ist bei A mehr Trockenheit (— E), bei B mehr Flüssigkeit (+ E) anzutreffen, die Elasticität ist aber gleich groſs an allen Stellen des ganzen Gefäſses A B. Nach diesen Begriffen besteht die ganze Erscheinung der el. Wirkungskreise in dem Ueberströmen oder der Fortpflanzung des el. fortleitenden Fluidums, welches sich eben so, wie der freie Wärmestoff, durch alle Körper bis zu einem gewissen Gleichgewichte zu vertheilen strebt, und die schwere el. Materie vermöge seiner Verwandtschaft da mit sich nimmt, wo sie frei ist, oder schwächer zurückgehalten wird, da aber zurückläſst, wo sie durch ihre Verwandtschaft stärker an andere Körper gefesselt ist. Weil das Medium dieser Fortpflanzung gemeiniglich die Luft ist, so hat diese auf die Erscheinungen der Wirkungskreise allerdings einen bedeutenden Einfluſs, denn ein jeder Körper besitzt z. B. nur insofern + E, als er einen Ueberschuſs an el. Materie in Vergleichung mit der umgebenden Luft hat, und insofern — E, als er in Vergleichung mit eben dieser Luft an el. Materie Mangel leidet. Dieser Einfluſs oder diese Mitwirkung der Luft, oder überhaupt des umgebenden Mediums äuſsert sich nun ganz besonders bei den durch die E. veranlaſsten Bewegungen der wägbaren Körper, und nur durch Hülfe desselben kann das de Lüc'sche System Rechenschaft davon geben, die uns indeſs nicht vollkommen genügend scheint, wenn gleich de Lüc durch eine groſse Menge mannigfaltig abgeänderter Versuche [1] und sehr scharfsinniger Erörterungen derselben gerade von dieser Seite seine Theorie in ein besonders günstiges Licht zu stellen vermeint hat.

Das Eigenthümliche und Unterscheidende der de Lüc'schen Erklärung liegt darin, daſs derselbe keine Repulsivkraft zu Hülfe nimmt, sondern alles auf bloſse Anziehung und zwar in den meisten Fällen auf eine solche, die auf das umgebende Mittel gerichtet ist, zurückführt. Um diese Erklärung gehörig zu begreifen und zu würdigen, muſs man von dem Hauptsatze ausgehen, daſs diese Anziehungen einzig an die Menge der (vom el. Fluidum wohl zu unterscheidenden) el. Materie, welche die Körper besitzen, gebunden sind. Die el. Materie, die

---

1 Im dem VII. Abschnitte. Von den el. Bewegungen.

einem Körper zugehört, widersteht nämlich der Trennung von demselben, obgleich sie fortfährt, sich nach andern Körpern, die davon weniger besitzen, *hinzuneigen*, jedoch geschieht dieses in einigem Verhältnisse mit der Entfernung schwächer. Der positive und der negative Zustand der Körper mit Beziehung auf das umgebende Mittel, das selbst nicht aus seinem natürlichen Zustande getreten ist, sofern beide Bewegungen veranlassen, beziehen sich nicht auf das ganze el. Fluidum, sondern auf die el. Materie, welche einen Theil davon ausmacht, oder anders ausgedrückt, sie zielen nicht auf den Grad der *ausdehnenden Kraft* des el. Fluidums, welche nach DE LUC nur von dem Verhältnisse des fortleitenden Fluidums abhängt, sondern nur auf die Dichtigkeit, d. h. die verhältnifsmäfsige Menge, der el. Materie an einer gegebenen Oberfläche, und die mannigfaltigen Modificationen der von der E. abhängigen Bewegungen frei beweglicher Körper, welche von einander divergiren, oder zusammenfallen und sich aus Entfernungen anziehen, sind stets den Veränderungen proportional, welche die Dichtigkeit des el. Fluidums in den Körpern selbst erleidet in Vergleich mit der wirklichen Dichtigkeit des el. Fluidums in dem umgebenden Mittel. Wenn also zwei frei bewegliche Körper, noch unbeweglich, weil sie in demselben el. Zustande mit dem umgebenden Mittel sind, eine gleiche Menge el. Fluidums erhalten oder verlieren, so könnte diese Veränderung des Zustandes an und für sich und bei ihnen allein betrachtet, noch keine Ursache der Bewegung seyn, weil diese Körper, was die Menge der el. Materie betrifft, immer im Gleichgewichte bleiben; wenn man sie aber als von Luft umgeben ansieht, so findet man alsdann eine Ursache der Bewegung. Die Lufttheilchen, welche die Seiten berühren, die die Körper einander gegenseitig zukehren, haben eine doppelte Ursache der Modification, weil diese *beiden* Seiten dazu beitragen, diese Theilchen empfangen oder verlieren, also doppelt el. Materie erhalten, anstatt dafs die Lufttheilchen, welche an ihre entgegengesetzten Seiten anstofsen, hier nur durch jede dieser Seiten für sich allein modificirt werden. Der Zustand eines jeden dieser beiden Körper ist also dieser: Auf einer seiner Seiten befindet sich der andere Körper und die Luft dazwischen, wovon jener, und die Luft nahe dabei, in demselben el. Zustande mit ihm ist, während auf der entgegengesetzten

Seite die Luft nur schwach durch ihn selbst modificirt wird; folglich strebt jeder Körper mehr gegen diese äufsere Seite als gegen die innere durch Anziehung, in dem einen Falle, bei negativ elektrisirten Körpern wegen des Uebergewichts der el. Materie der Luft, in dem andern Falle, bei positiv elektrisirten Körpern wegen des Uebergewichts ihrer el. Materie, und dadurch entfernen sie sich von einander (scheinbares Abstofsen gleichartig elektrisirter Körper nach dem ersten Fundamentalgesetze der el. Bewegungen.) Ist einer der beiden Körper positiv, der andere negativ el., so haben sie unmittelbar in sich selbst eine Ursache der Bewegung, nämlich den Mangel des Gleichgewichts der el. Materie unter ihnen. Die Luft setzt aber hier eine neue Ursache hinzu, denn jeden der beiden Körper modificirt sie auf der äufsern Seite nach seinem besondern Zustande, statt dafs auf der innern Seite einer die Wirkung des andern zerstört, daher streben sie um so weniger sich gegen die auswendige Luft zu bewegen, und um so vielmehr gegen die innere. Dieses vermehrt ihren Hang gegen einander, und sie nähern sich (zweites Gesetz: ungleichartig elektrisirte Körper ziehen sich an). Was den dritten Hauptfall betrifft, wo nämlich nur einer der Körper elektrisirt ist, wo also der andere im Zustande des Mediums verbleibt, so müssen sie sich eben dieser Theorie zufolge schwach gegen einander bewegen, weil die el. Materie nicht unter ihnen im Gleichgewichte ist, und die Luft, indem sie denselben Zustand um den el. Körper umher annimmt, nichts in der unmittelbaren Ursache ihres Hanges ändert, aber eben darum, weil die Luft nichts hinzusetzt, kann dieser Hang nur schwach seyn. In der Wirklichkeit ändert sich jedoch dieser Fall nach dem Gesetze der *el. Einflüsse* in den Dritten um, indem der nicht elektrisirte Körper, vorzüglich wenn er ein Leiter ist, sich auf eine entgegengesetzte Art an seiner entgegengesetzten Oberfläche verändert, und er sich alsdann bewegt, weil sein Theil, der dem elektrisirten Körper am nächsten ist, sich mehr bestrebt, ihm sich zu nähern, als der entgegengesetzte Theil sich davon zu entfernen.

Noch hat de Lüc in eben diesem Abschnitte seine Theorie auf die Erklärung einiger sonderbaren el. Bewegungen angewandt, die dem ersten Anscheine nach so wenig aus der Franklin'schen als der dualistischen in ihrer gewöhnlichen Gestalt begreiflich sind, wobei aber de Lüc selbst in Irrthümer verfallen

ist. Ich will einen dieser Versuche hier kritisch beleuchten, weil er zugleich dazu dient, de Lüc's Theorie in ein noch helleres Licht zu setzen. Mit einer auf einem isolirenden Fufse vertical aufgerichteten metallenen Scheibe B von etwa 8 Zoll im Durchmesser befinden sich an ihrer vordern und hintern Fläche zwei Paar Elektrometer verbunden, deren Kugeln von hohlem Metallblech von etwa 2″ Durchmesser von isolirenden Armen getragen werden, die sie in der Höhe des Mittelpunctes der Scheibe halten, an Trägern in einer mit der Ebene der Scheibe parallelen Ebene frei beweglich, die vordern überdiefs noch durch lackirte Glasstäbchen, von denen sie getragen werden, isolirt, aber mit der andern Fläche der Scheibe B in unmittelbarer leichter Berührung, die hintere an Strohhälmchen aufgehängt, in einer geringen Entfernung von der hintern Fläche der Scheibe, aber durch einen Metalldraht mit dem obern Rande derselben verbunden. Nähert man nun der Scheibe B die sich mit ihren zwei Paar Elektrometern im natürlichen Zustande befindet, eine gleichfalls isolirte Scheibe A in gleicher Höhe der Mittelpuncte in paralleler Richtung mit B, welche stark positiv elektrisirt ist, so divergiren die beiden Paar Kugeln, und zwar nach de Lüc's Behauptung die vordern mit negativer, die hintern mit positiver E. Berührt man die vordern Kugeln, so geben sie einen eben so starken Funken als jeder andere Theil ihrer Gruppe (nämlich der Scheibe B mit ihren Elektrometern), und zwar divergiren sie alsdann noch mehr, weil sie negativer geworden sind, und sie fahren fort zu divergiren, ob man sie gleich in Verbindung mit dem Boden durch kleine leitende Drähte setzt, die ihre Bewegung nicht hindern. In dem Augenblicke, dafs man den Funken aus den vordern Kugeln, oder aus jedem andern Theile der Gruppe, nimmt, fallen die hintern Kugeln zusammen, und divergiren von neuem, weil sodann die ganze Gruppe negativ geworden ist. In diesem Augenblicke ist die ausdehnende Kraft der el. Flüssigkeit aller Theile der Gruppe auf einerlei Grade mit der des el. Fluidums im Boden, denn welchen Theil der Gruppe man auch berührt, wird in seinem Zustande nichts geändert. Inzwischen divergiren die beiden Paar Kugeln, weil die gesammte Dichtigkeit des Fluidums der Gruppe geringer ist, als die des el. Fluidums des Bodens und umgebenden Mittels, und eines divergirt mehr als das andere, weil dieser Unterschied der Dichtigkeit bei dem einen

gröfser ist, als bei dem andern. Hier verwechselt aber de Lüc zwei Wirkungen, die ganz verschiedene Ursachen haben. Das vordere Paar Kugeln divergirt offenbar durch die unmittelbare Wirkung der Scheibe A, die mit ihren ausgebreiteten Seitentheilen ein Uebergewicht über die Mitte, welcher die Kugeln gegenüber stehen, ausübt, und also die Kugeln so weit von einander entfernt, bis die Anziehungen nach allen Seiten hin im Gleichgewichte mit einander stehen. Eben darum hat es nichts Auffallendes, dafs diese Divergenz auch noch fortdauert, wenn diese Kugeln durch leitende Fäden mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt werden, während es mit allen Versuchen in directem Widerspruche steht, dafs die Divergenz zweier gleichnamig el., und zunächst nur durch ihre eigene E. aus einander gehaltener Körper fortdaure, wenn eine Verbindung zwischen ihnen und dem Erdboden eingeleitet wird. Auch streitet es mit allen anerkannten el. Erfahrungen, dafs die Körper, die bereits negativ el. sind, wenn ihnen ein mit dem Erdboden verbundener Leiter genähert wird, durch den zwischen ihnen überschlagenden Funken noch *negativer* werden sollten, wie de Lüc von dem vordern Paare von Kugeln voraussetzt. Es findet hier allen Versuchen zufolge keine andere Wechselwirkung statt, als eine Verminderung des negativen Zustandes durch einen positiven Funken. Allerdings geben die Kugeln in jenem Versuche einen Funken, weil sie mit der ganzen Gruppe in leitender Verbindung stehen, die sich an jedem Puncte der von der positiven Scheibe A frei gemachten und in Spannung versetzten positiven E. zu entledigen sucht, und da die vordern Kugeln zugleich die mehr nach ihrer äufsern Seite zurückgetriebene positive E., welche der Anziehung von den Seitentheilen der Scheibe A entgegenwirkte, in diesem Funken mit verlieren, so können sie dann von jenen Seitentheilen noch etwas mehr nach Aufsen gezogen werden, d. h. ihre Divergenz mufs etwas zunehmen. Dafs die hintern Kugeln im Augenblicke, da die Gruppe berührt wird, zusammenfallen, ist eine nothwendige Folge der Entziehung (oder Ausgleichung) ihrer positiven E., durch welche sie vorher divergirten, dafs sie aber dann nachher wieder, wenn gleich schwächer als die vordern Kugeln, divergiren, ist abermals blofs eine Wirkung der Anziehungskraft der positiven Scheibe A, welche gleichfalls wegen der gröfseren Ausbreitung ihrer Seitentheile diese Kugeln etwas seitwärts zie-

hen mufs, aber freilich in geringerem Grade, als das vordere Paar, weil ihre Wirkung aus gröfserer Entfernung auf sie ausgeübt wird. So sind also alle Modificationen dieser Bewegungen aus der von uns oben entwickelten Theorie vollkommen begreiflich, und man hat nicht zu jenen aufserordentlichen Annahmen seine Zuflucht zu nehmen, die mit allen Versuchen im Widerspruche stehen, dafs Körper, welche durch eigene E. divergiren, diese Divergenz auch noch behaupten, wenn sie gleich mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt werden.

Ueberhaupt stellen sich der de Lüc'schen Theorie, so sinnreich sie auch die Analogie der Wasserdämpfe angewandt hat, aus dieser selbst nicht unerhebliche Schwierigkeiten entgegen. Wenn in ein verschlossenes Gefäfs voll Wasserdämpfe, womit de Lüc einen Leiter vergleicht, neue Feuermaterie einströmt, so findet allerdings im ersten Augenblicke ein Unterschied der Dichtigkeit bei gleicher ausdehnender Kraft in den verschiedenen Theilen des Gefäfses statt, indem auf der Seite des Einströmens der Dampf dünner, auf der entgegengesetzten Seite dichter werden wird; doch findet, wenn nicht dieses Einströmen ununterbrochen fortdauert, sehr schnell eine Ausgleichung statt, und das Gefäfs wird überall Wasserdampf von gleicher Dichtigkeit enthalten. Dasselbe sollte auch statt finden, wenn ein im natürlichen Zustande befindlicher Leiter in den Wirkungskreis eines positiven versetzt wird. Letzterer kann offenbar nur eine gewisse Menge fortleitendes Fluidum an jenen abgeben, im ersten Augenblicke wird also das el. Fluidum an dem zunächst gelegenen Ende des Leiters gleichsam verdünnt werden (das Ende wird —), und nach dem entgegengesetzten Ende el. Materie sich anhäufen (das Ende wird +), aber in sehr kurzer Zeit müfste sich doch das fortleitende Fluidum mit der el. Materie im ganzen Leiter ins Gleichgewicht setzen, und dieser Unterschied der Dichtigkeit aufhören, welchem indefs die Erfahrung widerspricht. Ich übergehe hier noch manche andere Schwierigkeiten, die sich besser unter andern Artikeln namentlich *Elektrophor* und *Flasche*, auf deren Erklärung de Lüc seine Theorie sehr sinnreich angewandt hat, entwickeln lassen. Gerade da, wo man den meisten Aufschlufs von de Lüc erwartet, wird man von ihm im Stiche gelassen, nämlich in Betreff der nähern Natur jener beiden Bestandtheile des el. Fluidums. Im XIV. Abschnitte, wo er von den Phänomenen handelt, wo-

bei sich das el. Fluidum zersetzt, reducirt er diese Zersetzung auf das allgemeine Gesetz, wonach sich überhaupt die Flüssigkeiten, mit denen die el. zu einer Classe gehört (die dampfförmigen) zersetzen, nämlich auf Verdichtung, und leitet daraus die Licht- und Feuererscheinungen und den phosphorischen Geruch ab, stellt aber verschiedene Möglichkeiten auf, wie sich deren Erscheinungen erklären lassen, ohne jedoch zwischen ihnen zu entscheiden, nur daſs er bemerkt, daſs das *Licht* für sich allein das fortleidende el. Fluidum nicht ausmache, sondern nur einen Bestandtheil desselben bilde, dessen anderer Bestandtheil vielleicht die *Feuermaterie* seyn könnte, jedoch in einem geringeren Verhältnisse, als nöthig ist, um Wärme zu bilden, woraus dann begreiflich werde, warum beim Entweichen von Licht in dem el. Funken nun auch Wärme auftrete, indem alsdann die beiden Bestandtheile in das zu ihrer Bildung gehörige Verhältniſs getreten sind. Ueber die nähere Natur der eigentlichen el. Materie läſst er uns vollends im Dunkeln.

Kaum verdient die sog. neue Theorie von J. H. Voigt, die dieser sonst verdienstvolle Physiker in einer eigenen Schrift[1] weitläuftig vorgetragen hat, eine Erwähnung, da sie keine neue Causalerklärung enthält, sondern in einem bloſsen Ausdrucke der Phänomene besteht, der von dem Symmer'schen Dualismus, insbesondere wie er von Lichtenberg dargestellt worden ist, nur den Worten nach abweicht. Die Lichtenberg'schen und überhaupt alle folgerichtigen Darstellungen nach dem dualistischen Systeme verwandeln sich buchstäblich in die Voigt'schen Erklärungen, wenn man statt + und — männlichen und weiblichen Stoff, statt Sättigung und Bindung Paarung und Streben nach Paarung setzt. Wenn Bezeichnungen wie + und — positiv und negativ darum ächt wissenschaftliche genannt zu werden verdienen, weil sie auf die strenge Anwendung der Begriffe, welche diese Namen in einer andern Sphäre, nämlich der Mathematik, bezeichnen, auch in der Sphäre dieser Erscheinungen hindeuten, die allerdings nach allem, was in ihnen zeitlich und räumlich (quantitativ) bestimmbar ist, eine solche mathematische Betrachtungsweise zulassen, so erscheinen dagegen aus

1 Versuch einer neuen Theorie des Feuers, der Verbrennung, künstlicher Luftarten, des Athmens u. s. w. Jena 1793. 8. auch im gothaischen Magazine für das Neueste u. s. w. IX, Bd. 2. St. S. 110 u. f.

einer so ganz heterogenen Sphäre hergeleitete Benennungen als bloſse Auswüchse eines unwissenschaftlichen Witzes, und es verräth sich sogar ein gänzliches Verkennen der Gesetze des el. Wechselverhältnisses, wenn Voigt an einzelnen Orten sich so erklärt, als wenn das + oder der männliche Stoff zu dem — oder eigenthümlichen weiblichen Stoffe, mit welchem er in dem 0 E oder in der gepaarten E. verbunden war, eine besondere Verwandtschaft habe, und diesen ihm zugehörigen weiblichen Stoff vorzugsweise anziehe. Uebrigens hat Voigt über die nähere Natur dieser nach Paarung strebenden Stoffe uns keine weitere Aufschlüsse verschafft, wenn wir etwa einige Versuche ausnehmen, durch welche er zu beweisen glaubte, daſs die positive Materie stärker, als die negative wirke, Versuche, deren Beweiskraft indeſs durch spätere wieder vernichtet worden sind. Denn wenn Voigt als einen solchen Beweis anführt, daſs wenn man beim Henly'schen allgemeinen Auslader den Finger zwischen den positiven und negativen Knopf halte, man ihn von jeder Seite wie mit Ruthen gepeitscht aber stärker von der positiven Seite her fühle, so ist nicht zu vergessen, daſs von der positiven Seite die Ladung ausgegangen ist, und also sich hier ein relatives Uebergewicht von E., wovon die freie Spannung abhängt, befindet, und dann zeigt sich in den Entladungsversuchen der Volta'schen Säule stets die stärkere und unangenehmere Empfindung auf der negativen Seite. Was aber die Erscheinung der Flamme eines zwischen zwei Drähten stehenden Lichtes betrifft, daſs sie beim Elektrisiren eine fächerförmige Form annehme, aber auf der Seite der negativen E. noch eine Spitze bekomme, wie ein Aderlaſsschnepper, als ob der positive Conductor sanft hineinbliese, so zeigt die oben mitgetheilte Prüfung dieser Phänomene die gänzliche Unzulässigkeit einer solchen Ansicht.

J. G. F. Schrader hat es versucht[1], die nähere Natur der E. weiter aufzuklären. In gewisser Hinsicht hat er de Luc's Ideen zum Grunde gelegt, der Versuch ist aber gänzlich miſsrathen und verräth allenthalben eine groſse Verwirrung der Ideen. *Sauerstoff*, *Lichtstoff* und *Wärmestoff* sollen die Bestandtheile des el. Fluidums seyn, der Lichtstoff gleichsam das fortleitende Fluidum, doch soll der Wärmestoff die E. erst zur

---

1 Versuch einer neuen Theorie der E. Altona 1796.

strahlenden machen. Uebergewicht des Lichtstoffs macht den Unterschied der positiven und negativen E. Das Daseyn des Sauerstoffs in der E. glaubt er dadurch bewiesen zu haben, daſs Gold auch in irrespirablen Luftarten durch den el. Schlag oxydirt werde, wovon wir übrigens das Gegentheil wissen. Seine Erklärung der Ladung ist eine ganz miſsglückte Anwendung der de Lüc'schen Theorie.

Keinen gröſsern Werth hat dasjenige, was Lampadius[1] über die Natur der E. vorgetragen hat, wobei er gleichfalls von der de Lüc'schen Ansicht über ihre, den Dämpfen analoge Zusammensetzung ausgegangen ist. Lampadius glaubt in dem el. Fluidum folgende Substanzen anzutreffen 1. das Feuer, weil die E. Körper entzünde, verkalke und andere Wirkungen des zersetzten Feuers äuſsere. 2. Phlogiston, weil sie metallische Kalke wiederherstelle und die Luft phlogistisire, welche Wirkungen man doch dem Phlogiston zuschreibe. 3. Licht sey nicht allein mit Feuermaterie verbunden, als Feuer in dem el. Fluidum vorhanden, sondern es enthalte selbiges auch als gebundenes Licht, wovon vielleicht seine Zartheit und erstaunliche Geschwindigkeit herrühre. Dieses beweise der starke Glanz und die Geschwindigkeit des Blitzes. 4. Sey im el. Fluidum noch eine unbekannte Substanz vorhanden, die sich durch den Phosphorgeruch beim Elektrisiren zu erkennen gäbe, nach Westrumb's Vermuthung Phosphorsäure. Nähme man zwei el. Materien an, so lasse sich vielleicht ihr Unterschied durch Ueberfluſs oder Mangel von Feuer bei ihrer Ladung erklären, so wie bei chemischen Zusammensetzungen bisweilen die Säure, bisweilen ein anderer Stoff das Uebergewicht habe. Dies scheine noch dadurch eine Bestätigung zu erhalten, daſs diese beiden Materien einander anziehen, und dadurch alle E. vernichten, welches mit dem in der Theorie der Wärme bekannten Gesetze übereinstimme, nach welchem sich das Feuer durch alle Substanzen gleichförmig zu verbreiten strebt.

Gren[2] machte sich eine viel einfachere Vorstellung von der Natur der E. als die beiden vorhergenannten Physiker. Ihm zufolge ist sie wesentlich nichts anders als Lichtmaterie, welche

1 Versuche und Beobachtungen über die E. und Wärme der Atmosphäre. Berlin und Stettin 1793. 8. Kap. 2.

2 Grundriſs der Naturlehre. Halle 1797. 8. §. 1408.

durch Adhäsionsverwandtschaft an der Oberfläche der Leiter festgehalten, und nur an und in Nichtleitern frei, wirksam und thätig wird. Das el. Licht zeigt sich daher nur bei dem Uebergange oder Eintritte aus einem oder in einen Leiter durch einen Nichtleiter. Die Anhäufung der el. Lichtmaterie auf isolirten Leitern würde indeſs durch die Anziehung derselben dagegen allein nicht geschehen können, oder diese würde nicht hinreichend seyn, der Repulsivkraft ihrer Theile unter einander hinlänglich das Gleichgewicht zu halten, so daſs sie sich als Licht entwickeln und entweichen müſste, wenn nicht die Repulsivkraft der el. Atmosphäre die Anziehungskraft des Leiters dagegen unterstützte. Die Erscheinungen des el. Lichts in der torricelli'schen Leere beweisen dies, in welcher die Lichtmaterie, weder durch Anziehung noch durch jenen Widerstand von Auſsen zurückgehalten, am freiesten sich ausbreiten kann und das stärkste Licht zeigt. Beim Uebergange der E. als Funken oder beim Aus- und Einströmen durch Spitzen wird nicht alles el. Fluidum frei und zum Lichte, sondern es wird etwas an die Luft mitgetheilt, weil diese kein vollkommener Nichtleiter ist. So wie das Licht nach Gren aus seinem hypothetischen *Brennstoffe* als seiner eigentlichen Basis und dem *Wärmestoffe*, welchem es eigentlich seine Expansivkraft verdankt, zusammengesetzt ist, so müssen auch diese beiden Bestandtheile in dem el. Fluidum nachgewiesen werden können. Das Daseyn des Wärmestoffs als Bestandtheil der el. Materie, habe van Marum direct dargethan, und erhelle hinlänglich aus den Wirkungen der verstärkten E. Das Daseyn der eigenthümlichen Basis des Lichtes folge nicht bloſs aus dem Lichte selbst, zu welchem die el. Materie bei ihrem Freiwerden übergehe, sondern auch aus andern Versuchen wie z. B. aus der Zersetzung des Wassers durch den el. Funken, dessen Wasserstoff, wenn er Wasserstoffgas bilden soll, nothwendig die Basis des Lichtes enthalten müsse, die er nirgend anderswoher als aus dem el. Fluidum empfangen könne. Die Geruchs- und Geschmacksempfindungen, welche die E. hervorbringen, bewiesen keinesweges das Daseyn eines eigenthümlichen Riechstoffs einer Säure u. dgl. in der el. Materie, sondern nur, daſs unsere Nerven durch Strömung der el. Materie *gereizt* würden. Es folge aus dieser Hypothese, daſs die el. Materie in den Körpern zusammengesetzt und zersetzt werden könne. Die ursprüngliche Erregung der E. bei so man-

nigfaltigen Processen des Schmelzens, Verbrennens, Verdampfens u. s. w. lasse sich hieraus erklären. Beim Reiben sey es ohne Zweifel der dabei entwickelte Wärmestoff, welcher der durch Anziehung der Körper unthätig gemachten und ins Gleichgewicht gebrachten el. Materie die nöthige Expansivkraft ertheile, vielleicht auch sich mit der in den Körpern befindlichen Lichtbasis erst zur el. Materie vereinige. Das einerseits ganz Willkürliche, andererseits Ungenaue dieser Darstellung leuchtet von selbst ein, und nur der Name des berühmten Urhebers gab Veranlassung, derselben so viele Zeilen zu widmen.

H. C. Oersted[1] faſste die el. Thätigkeit aus einem höheren Standpuncte auf, indem er in derselben gleichsam nur eine besondere Wirkungsform der allgemeinsten Naturkräfte zu finden glaubte. Seine Ansicht hat ihre erste Wurzel in Kant's dynamischer Physik, und ihre besondere Richtung ohne Zweifel vorzüglich durch Winterl's geistreiche Träumereien[2] erhalten. Alle el. Erscheinungen hängen, ihm zufolge, von denselben *zwei Grundkräften* ab, welche dem chemischen Proceſs zum Grunde liegen, und welche in dieser Sphäre von ihm den Namen der *Zündkraft* und *Brennkraft* erhalten haben. In ihrer ganzen Consequenz durchgeführt fallen nach dieser Ansicht die Körper selbst mit den Kräften zusammen, indem auch der Raum nur durch diese Kräfte körperlich wird. Indeſs ist in der wirklichen sprachgemäſsen Darstellung die Unterscheidung dieser Kräfte von den Körpern selbst unvermeidlich. Für sich ist jede dieser Kräfte durch Repulsiv- oder Ausdehnungskraft frei thätig, und strebt sich im Raume zu verbreiten, in Beziehung auf einander wirken sie durch gegenseitige Anziehungskraft, heben so wechselseitig ihre Repulsivkraft auf, und fixiren sich im Raume. Da *Wärme*, *Licht* und *Magnetismus* nur besondere Wirkungsformen eben dieser Kräfte sind, so ist leicht begreiflich, wie unter besondern Umständen die el. Kräfte in ihrer Wirkung auf einander Wärme, Licht, und selbst magnetische Erscheinungen hervorbringen können. Winterl hatte ungefähr auf dieselbe Weise früher, wie Oersted in seiner Zündkraft, in den Principien der *Acidität* und *Alkalität* oder

1 Ansicht der chemischen Naturgesetze. Berl. 1812.

2 Darstellung der vier Bestandtheile der anorganischen Natur. Jena 1804.

den von ihm sogenannten begeistigenden Principien die letzten chemischen Kräfte aufgestellt, auf deren wechselseitiger Anziehung alle chemischen Verbindungserscheinungen (und damit auch alle Zersetzungen, die dann nur Folge einer neuen Verbindung sind) beruhen, und diese Kräfte als identische mit den beiden Elektricitäten nachzuweisen gesucht. Zugleich hatte er behauptet, dafs die beiden Elektricitäten durch ihre Einung stets Wärme erzeugen die also ein Product, ein Zusammengesetztes, aus ihnen beiden als ihren Bestandtheilen sey. Dagegen erinnerte Oersted mit Recht, dafs Wärme-Erzeugung nur unter besondern Umständen ein Resultat der Ausgleichung beider Elektricitäten sey, indem auch die gröfsten Quantitäten entgegengesetzter E., wenn sie sich in hinlänglich vollkommenen Leitern ausgleichen, keine Temperaturerhöhung veranlassen. Indem er nun mit vieler Sorgfalt alle die Phänomene der Wärmeerzeugung durch E. zusammenstellte, gelangte er zu dem Resultate, dafs ein Körper warm wird, wenn er gezwungen ist, eine gröfsere Elektricitätsmenge zu leiten, als er frei geleitet haben würde, und zu dem Fundamentalsatze seiner Wärmetheorie, dafs derjenige Zustand, wo das Gleichgewicht in jedem Puncte des Körpers gestört ist, aber so, dafs es zu keiner sinnlich erkennbaren Trennung der Kräfte komme, die Erscheinung der Wärme gebe. Die nähere Prüfung dieser Theorie gehört in den Artikel: *Wärme*, nur das mag hier beistimmend bemerkt werden, dafs Oersted aufser allen Zweifel gestellt hat, dafs eine blofse Vereinigung der beiden Elektricitäten an und für sich noch keine Wärme giebt, oder dafs diese nicht in demselben Sinne als ein Product derselben betrachtet werden kann, wie etwa ein Salz als dasjenige der Vereinigung einer Säure und einer Base.

Wollaston[1] suchte die Natur der E. vielmehr aus der Natur ihrer Quelle oder der Art ihrer Erregung aufzuklären. Erst bewies er durch mehrere scharfsinnig ausgedachte Versuche die Identität der gewöhnlichen Reibungs E. mit der galvanisch erregten auch da, wo man vorher nur Verschiedenheit gesehen hatte. Es gelang ihm durch den blofsen el. Strom der Elektrisirmaschine (eines Glascylinders von 7 Zollen im Durchmesser) die Wasserzersetzung auf eine ähnliche Weise wie durch die Zuleitungsdrähte einer Volta'schen Säule zu bewirken, wenn er diesen Strom nur durch eine hinlänglich feine Spitze in das

1 G. XI. 104.

Wasser leitete. Er bereitete sich dazu die feinsten Goldfäden durch Verjagung der Säure einer Goldauflösung in einem Haarröhrchen, das auf diese Weise innerlich mit einem höchst dünnen Goldhäutchen überzogen worden war, und zusammengeschmolzen wurde. Verband er zwei solche Drähte, wenn man sie so nennen darf, den einen mit dem positiven, den andern mit dem negativen Conductor seiner Maschine, so zeigten sich an beiden Enden Gasbläschen, doch immer noch mit dem Unterschiede von dem Verhalten der galvanisch durchströmten Gasleitungsröhre, daſs Sauerstoffgas und Wasserstoffgas jedesmal zugleich an beiden Drähten, und nicht getrennt jedes für sich an seinem respectiven Drahte auftreten. Eine andere Aehnlichkeit beiderlei Arten von E. zeigte sich in der Wirkung eines Stromes elektrischer Funken zwischen zwei, einen Zoll von von einander abstehenden, Goldspitzen, die über ein mit Lackmus blau gefärbtes und beinahe trockenes Kartenblatt geleitet wurden und am positiven Drahte das Papier sichtlich roth färbten, am negativen dagegen die blaue Farbe des rothgefärbten wieder herstellten. Doch erfolgte diese Wirkung schneller durch den Volta'schen Apparat. Bei dieser Aehnlichkeit der beiden Elektricitäten in ihrer Wirkung kam Wollaston auf die Folgerung, daſs sie auch auf gleiche Art erregt werden möchten, und wirklich wurde dies durch Versuche bestätigt. Das Silber und Platin-Amalgama die sich nicht oxydiren, zur Einreibung des Reibkissens gebraucht, hinderten die Erregung der E., und eine kleine Elektrisirmaschine gab unter einem Recipienten, in welchen kohlensaures Gas gelassen worden war, keine Spur von E. So wie nun hier das Reibzeug, an welchem sich das oxydirbare Amalgam befindet, negativ elektrisch wird, so wird auch in der Säule der sich oxydirende Zink negativ (wovon jedoch bekanntlich gerade das Gegentheil statt findet).

Auf dieser von Wallaston (scheinbar) zur Aufklärung der Natur der E. aus dem Vorgange ihrer Erregung gebrochenen Bahn ist später Parrot noch weiter fortgeschritten, und ist so zu einer Theorie der E. gelangt, die wegen ihrer specielleren Ausführung hier näher gewürdigt zu werden verdient[1]. Das schon längst bekannte Phänomen, meint Parrot, daſs ein nur

1 S. Grundriſs der theor. Physik II. Theil drittes Kapitel. Allgemeine Theorie der E. S. 588.

mäſsig gut gekochtes Barometer bei dem Schwenken der Quecksilbersäule E. zeigt, ein völlig luftleeres aber nicht, hätte schon andeuten sollen, daſs die atmosphärische Luft bei allen unsern Reibungsversuchen zur Entstehung der E. nothwendig sey. Diesen wichtigen Satz habe D. Heidmann in Wien durch folgende Versuche auſser allen Zweifel gesetzt[1]. Eine kleine Elektrisirmaschine wurde unter die Glocke einer Luftpumpe so aptirt, daſs sie ohne Communication mit der äuſsern Luft gesetzt werden konnte. Die Glocke stand aber mit einem Gasometer in Verbindung, welcher die Glocke mit verschiedenen Gasarten versehen konnte, nachdem die vorhergehende ausgepumpt worden war. Hierauf wurden folgende Gase nach und nach eingeführt, die Elektrisirmaschine in Thätigkeit gesetzt, und die Länge der Funken mit einem Auslader gemessen. 1. *Atmosphärische Luft* von der Dichtigkeit der äuſseren lieferte Funken von 3″. 2. Atmosphärische Luft, welche nur noch 3″, 5 Quecksilber trug, lieferte keine meſsbare Funken mehr, sondern nur ein schwaches Knistern. Bei möglichster Verdünnung hörte dieses auch auf, und nur noch ein Korkkügelchenelektrometer gab einige Spuren von E. zu erkennen. 3. *Sauerstoffgas* gab ununterbrochene Funken von 5″, 5. 4. *Kohlensaures Gas* von ziemlicher Reinheit lieſs keinen Funken zu. Am Elektrometer wurde nur ein Schwanken der Kügelchen bemerkt. 5. Ebenso verhielt sich das *Wasserstoffgas* und *Stickgas*.

Diese Versuche sollen beweisen, daſs nur die Gegenwart des freien Sauerstoffs die Elektricitätserregung zulasse. „Die Wirkung des freien Sauerstoffs ist aber Oxydation der „oxydablen Stoffe, welche ihm dargeboten werden. In der „Reibungselektricität zeigt sich auch diese Oxydation. Beim „Reiben einer Scheibenmaschine am (reinern) Quecksilber sieht „man diese Oxydation mit groſser Schnelligkeit entstehen, sie „entsteht am Kienmayer'schen Amalgama, welches weiter nichts „ist, als ein an der Luft sehr oxydabeles Gemisch. Sie findet „sich an der Hand des Experimentators, der sie als Reiber ge„braucht, in den ausdünstbaren, oxydirbaren Stoffen; sie ent„steht am bloſsen Leder und andern Substanzen, die man als „Reiber anwendet, und wir finden durchaus, daſs die Grade

1 Vergl. Dr. Heidmann vollständige Theorie der E. Bd. II. S. 191—210.

„der E. an der Elektrisirmaschine mit der Oxydirbarkeit des „Reibers zunehmen.“

Das Resultat hieraus ist, deſs die Reibungselektricität so gut als die galvanische ein Product der Oxydation ist. Die Reibung befördert die Oxydation 1. durch eine gelinde Erwärmung. 2. Durch eine vollkommene Trituration der atmosphärischen Luft mit der oxydabelen Substanz. 3. Durch eine beständige Zufuhr von neuer Luft in den Proceſs. Sie erhöht endlich die el. Wirkung, indem sie den Körper, der + E hat, schnell von dem, der — E hat, entfernt. Die stärkere Spannung der Reibungs-E. gegen die der galvanischen beruht auf der Abwesenheit einer leitenden Flüssigkeit, welche beide E. bald nach ihrer Entstehung in der Säule wieder vereinigt, aber auch darauf, daſs jeder physisch unendlich schmale Streifen der Scheibe als eine Schichtung in der Säule angesehen werden kann, welche dem Conductor, dem Pole der Maschine, ihre erhaltene E. zuführt, und da dieser Streifen unendlich viele auf der Fläche der Scheibe sind, so haben wir hier nicht eine Summe von 100 oder 200 einfachen Graden, sondern eine unzählige Summe derselben. (Wie wenig diese Vergleichung passe, ergiebt sich schon daraus, daſs alle diese Streifen eine gleiche Spannung beim Reiben annehmen). Parrot huldigt dem Dualismus, und zwar soll die positive E. Wärmestoff, die negative Lichtstoff seyn, denn Licht und Wärme zeigen sich auch ohne Oxydation beim el. Funken und beim Ausströmen aus Spitzen. Der Wärmestoff ist der expandirende Stoff für das Oxygen (aber die + E in der Gaszersetzungsröhre stellt den gebundenen Sauerstoff in Gasgestalt dar) der Lichtstoff ist das expandirende Princip für das Hydrogen (aber die — E stellt auch den gebundeuen Wasserstoff in Gasgestalt dar). Diese Annahme stimmt auch vollkommen mit der Erregungsweise der E. überein. An den gewöhnlichen Elektrisirmaschinen oxydirt sich das Amalgama, diese entzündliche Substanz (eine *Lucide*) verliert dadurch ihre Entzündlichkeit, d. h. ihren gebundenen Lichtstoff, welcher aber nicht vernichtet werden kann. Daher erscheint er als — E am Metalle. Der Sauerstoff der atmosphärischen Luft, indem er sich mit der Lucide verbindet, verliert seinen Wärmestoff, der eben so wenig vernichtet werden kann, daher erscheint er als + E und hängt sich dem Glase an. Auf ähnliche Weise erklärt Parrot die Elektricitätserregung in der Säule. Die Kohle,

durch welche ein mächtiger galvanischer Strom hindurch geleitet wird und welche am + Ende und am — Ende zugleich glüht, zeige gleichsam dem bloſsen Auge die + E in Gestalt des W rmestoffs, und — E in Gestalt des Lichtstoffs. Jene im + Ende gehäuft erheitze die Kohle bis zur Entzündung (aber das Glühen findet nach Davy auch beim Ausschluſs alles Verbrennens der Kohle in der so stark wie möglich verdünnten Luft im Wasserstoffgas u. s. w. statt), diese am — Ende gehäuft liefere den Lichtstoff des Entzündungsphänomens, der angehäuft bekanntlich die Glühhitze bewirkt. Uebrigens hängen die el. Phänomene von der vereinten Wirkung des Expansionsstrebens jener beiden Stoffe, welches das Ueberwiegende ist, und der Anziehung der ponderabelen Stoffe zu ihnen ab. Die Anziehung äuſsere sich bei den Metallen und wäſsrigen Flüssigkeiten nur an der Oberfläche nach Art einer Adhäsionsverwandtschaft, beim Glase, den übrigen Isolatoren (den *Luciden*) bis ins Innere, durch eine Art von chemischer Verwandtschaft, aber nur langsam, wie eine Säure nur langsam in das Wasser, das darüber gegossen wird, eindringe. Parrot gesteht aufrichtig, daſs wir in der Lehre des Wärmestoffs und des Lichtstoffs keine Anziehung dieser beiden Imponderabilien zu einander wahrgenommen haben, glaubt aber, diese groſse Schwierigkeit leicht umgehen zu können, wenn er hinzufügt, daſs nur die Elektricitätsphänomene im Stande sind, sie uns darzustellen, weil sie allein uns diese beiden Stoffe frei von andern Stoffen, und auf einander einwirkend zeigen. Endlich sollen im hervorbrechenden Funken beide Stoffe frei mit einander hervortreten, sie haben sich als Elektricitäten gebunden, aber als Stoffe wechselseitig frei gemacht.

Diese Theorie und damit auch die Wollaston'sche Erklärung der Erregung der E. durch Reibung hält indeſs eine genauere Prüfung nicht aus. Schon das Hauptfactum, von welchem Parrot ausgeht, die Abwesenheit der el. Lichterscheinung in einem vollkommen ausgekochten Barometer, verglichen mit den verwandten Phänomenen, liefert vielmehr einen Gegenbeweis. Wenn Oxydation des Quecksilbers durch den kleinen Rückstand von atmosphärischer Luft in dem nicht so vollkommen ausgekochten Barometer die Quelle der E. wäre, wie könnten durch Kochen des Quecksilbers soviel möglich luftleer gemachte und dann hermetisch verschlossene Röhren, in welchen man etwas Quecksilber zurückgelassen hat (die sogenannten

Hawksbee'schen Quecksilberphosphore) viele Jahre hindurch ihr phosphorisches Licht mit ungeschwächter Stärke geben. Ich besitze dergleichen bereits 30 Jahre, mit denen ich viele hundert Male mehrere Minuten lang den Lichtversuch angestellt habe, und noch zeigt das el. Licht seinen ursprünglichen Glanz und das Quecksilber sein unverändertes metallisches Ansehen. Auch ist es bekannt genug, dafs reines Quecksilber, wie stark und lange man es auch in Berührung mit der atmosphärischen Luft oder auch mit Sauerstoffgase in einem Glase schüttelt, sich doch nicht im Geringsten oxydirt. In wie viele Fällen findet *Elektricitätserregung* statt, wo auch nicht die *geringste Oxydation* anzunehmen ist, z. B. beim Erkalten des geschmolzenen Schwefels in metallenen Gefäfsen, beim starken Drucke der Körper an einander, bei der blofsen Veränderung des Aggregatzustandes derselben u. s. w. Die königliche Societät der Wissenschaften zu Göttingen hatte für das Jahr 1809 die Preisfrage aufgegeben: Was haben Sauerstoff, Stickgas und andere Gasarten für einen Einflufs auf die Erregung der E. durch Reiben, und wie verhalten sich andere el. Erscheinungen, wie z. B. Anziehen und Abstofsen, Funken, Strahlenbüschel in den vorzüglichsten Gasarten. Es war nur eine Abhandlung eingelaufen, in welcher ähnliche Versuche wie die Heidmann'sche beschrieben und Parrot's Theorie wörtlich vorgetragen war. Die Societät fand aber die Abhandlung nicht genügend, und machte gegen die Theorie mehrere treffende Bemerkungen. Insbesondere erinnerte sie, dafs bei Elektrisirmaschinen aus seidenen und wollenen Zeugen, die man mit Pelzwerk reibt, seit vielen Jahren, während welcher sie gebraucht werden, keine Veränderungen in dem Reibzeuge wahrzunehmen seyen, dafs also hier wenigstens die Oxydationstheorie nicht anwendbar sey. Es wird von derselben auch noch erinnert, dafs die Oxydation des Amalgams auch blofs ein begleitendes Phänomen seyn könne, wodurch dasselbe wegen veränderter Beschaffenheit seiner Oberfläche untauglich zum Reibzeuge werde [1]. Ehe jene Heidmann'schen Versuche zur Grundlage einer so umfassenden Theorie gemacht wurden, hätten sie billig von Parrot durch Wiederholung bestätigt werden sollen. Hieraus würde die Ueberzeugung hervorgegangen seyn, dafs Heidmann entweder gesehen

1 S. Gött. Gel. Anzeigen Nr. 17. 1809.

hat, was er sehen wollte, oder irgend einen wichtigen Umstand übersehen hat. Was nämlich die Abnahme der el. Phänomene in verdünnter Luft betrifft, so berechtigte sie an sich noch nicht zum Schlusse, dafs Mangel an Sauerstoff dieses veranlasse, da auch die bloſse Zerstreuung der E. in einem weniger isolirenden Medium die Ursache davon seyn konnte. Eine ähnliche Zerstreuung der E. durch das kohlensaure Gas, das Wasserstoffgas und Stickgas, als weniger isolirende Medien wie die atmosphärische Luft, ist dagegen freilich nicht zulässig, da aus Grotthuss's Versuchen das Verhalten des el. Funkens in den beiden ersteren[1] hervorgeht, dafs sie keine bessere Leiter, als die gewöhnliche atmosphärische Luft sind. Indessen haben wir auch zu diesem Auswege nicht unsere Zuflucht zu nehmen, da Heidmann's Versuche bei der Wiederholung sich wirklich nicht bestätigt haben. Ich beziehe mich in dieser Hinsicht auf Dessaignes's Versuche über den Einfluſs des Luftdrucks auf die Kraft der E.[2]. Die kleine Elektrisirmaschine, mit der er sowohl in verdünnter als verdichteter Luft, in verschiedenen Gasarten und Dämpfen, diese Versuche unter einem Recipienten anstellte, bestand aus einem 2″,6 dicken Cylinder von Siegellack, der sich an einem wollenen Reibzeuge rieb. Die Stärke der jedesmaligen Elektricitätserregung wurde durch die Gröſse der Divergenz der Kügelchen eines Saussüre'schen Elektrometers nach einer gewissen Anzahl von Umdrehungen gemessen, das mit einer metallenen Spitze bis auf 0,5 Linie mit dem Cylinder nahe war. Für die gehörige Austrocknung der Gasarten wurde durch geglühetes ätzendes Kali, oder salzsauren Kalk gesorgt. Da fand sich denn, dafs sich die durch Reiben erzeugte el. Kraft im *kohlensauren Gase, Wasserstoffgase und Stickgase*, so wie in der *atmosphärischen Luft* und im *Sauerstoffgase* äuſserte und dafs sie beim *Verdünnen* und *Verdichten* dieser Gasarten, dieselbe *Zunahme* und *Abnahme* an Stärke und dasselbe Verlöschen erlitt. Dessaignes glaubte einen Einfluſs der jedesmaligen el. Spannung der Atmosphäre auf die Stärke der E. und auf die früher oder später eintretende Abnahme bei der Verdünnung und Verdichtung, die erst einen verstärkenden Einfluſs äuſserten, beobachtet zu haben. Dabei bemerkte er nun,

---

1 Schweigg. III. S. 142.
2 G. XLVIII. 40.

dafs an Tagen starker Spannung die E. im *kohlensauren Gase* sogar mehr Intensität, als im *Sauerstoffgase*, und in diesem mehr als im *Stickgase* und *Wasserstoffgase* halte, dessen ungeachtet aber beim Verdünnen und Verdichten im kohlensauren Gase und überhaupt in den *dichteren* Gasarten eher als im Wasserstoffgase erlosch. An Tagen schwacher Spannung schien ihm dagegen die E. im Stickgase und Wassertoffgase viel stärker als im Sauerstoffgase und besonders im kohlensauren Gase zu seyn, und so erklärt er sich den entgegengesetzten Erfolg des Wollaston'schen Versuchs im kohlensauren Gase daraus, dafs er an einem Tage schwacher el. Spannung angestellt worden sey, wo die Elektricitätserregung in der atmosphärischen Luft noch ziemliche Intensität habe. Da man gegen Dessaignes's Versuche einwenden könnte, dafs sie mit einem ganz andern el. Körper und Reibzeuge, wie die des Dr. Heidmann und Wollaston angestellt seyen, und da es mir überhaupt von dem höchten Interesse schien, diese Sache aufs Reine zu bringen, so habe ich selbst Versuche mit einer kleinen sehr wirksamen englischen Patentscheiben-Maschine angestellt, deren Scheibe 9″ im Durchmesser hatte, und mit welcher eine Leidner Flasche verbunden war, die sich durch Hülfe eines Lane'schen Ausladeelektrometers nach einer grofsen Anzahl von Umdrehungen und davon abhängiger Stärke der Ladung von selbst entlud. Die bis zur Selbstentladung nöthige Anzahl der Umdrehungen war hier ein sehr sicherer Mafsstab für die Stärke der Elektricitätserregung. Die kleine Maschine befand sich mit der Flasche unter einem hinlänglich grofsen Recipienten, und die Axe der Maschine ging durch ein seitwärts in der Wendung der Glocke angebrachtes Loch durch eine Lederbüchse. Die Glocke wurde von der atmosphärischen Luft entleert und dann mit den Gasarten gefüllt. Die Versuche wurden öfters wiederholt. Hier zeigte sich nun, dafs im kohlensauren Gase nicht mehr Umdrehungen zur Entladung der Flasche nöthig waren, als in der atmosphärischen Luft, ja an manchen Tagen erfolgte die Entladung sogar früher, nämlich nach 8 bis 9 Umdrehungen, da die in der atmosphärischen Luft erst nach 12—13 Umdrehungen erfolgte. Auch im Wasserstoffgase ging die Ladung der Flasche eben so gut vor sich. Derselbe Fall war im Stickgase, das ich durch Schwefelleber aus der Luft bereitet hatte. Hiermit fällt also das ganze Fundament der Parrot'schen Theorie über den Haufen. Endlich

aber ist gar nicht zu begreifen, warum Wärmematerie und Lichtmaterie in den el. Erscheinungen mit so gänzlich abweichenden Eigenschaften von denjenigen auftreten sollten, die sie sonst zeigen. Eine gröſsere Reinheit derselben kann doch wahrlich nicht der Grund davon seyn, da vielmehr alles, besonders die Einwirkung auf unsere verschiedenen Sinnenorgane eine gröſsere Zusammengesetztheit der E. wie der Licht- und Wärmematerie anzeigt. Man kann unmöglich eine Uebereinstimmung zwischen dem positiven Feuerbüschel, der mit schönem purpur-violettem Lichte in divergirenden, von einem Stamme ausfahrenden, Strahlen hervorbricht, auf der Zunge einen säuerlichen Geschmack bewirkt, einen deutlichen Phosphorgeruch verbreitet, und nur unter besondern Umständen eine Temperaturerhöhung bewirkt, mit reiner Wärmematerie finden.

Ruhland [1] hat einen neuen Versuch gewagt, die Natur der E. weiter aufzuklären. Seine Ansicht über das Verhältniſs der beiden Elektricitäten gegen einander steht in der Mitte zwischen der Franklin'schen und dualistischen Theorie. Zur Verdeutlichung dieses Verhältnisses bedient er sich der Analogie des Lichtes. Die Elektrisirung sey ähnlich der Polarisation des letzteren zu Farben. + E und — E verhalten sich gegen einander wie rothes und violettes Licht, sie seyen gleichsam verschiedene Spannungen, es komme an ihnen weniger ihr Gegensatz als ihr Gemeinschaftliches in Betrachtung, doch ziehen sie hier wie zwei Hälften einer Substanz einander an. + E sey von gröſserer Spannung, und so wie das Licht beim Durchgange durch trübe Mittel als rother Strahl mit gröſsrer Spannung hervortrete, so werde die E. auch um so mehr + E, je mehr sie Widerstand bei ihrem Heraustreten zu überwinden habe. Doch finde nicht bloſs diese qualitative Spannungsverschiedenheit zwischen + E und — E statt, vermöge welcher das + E auch bei allen gradativen Verschiedenheiten doch stets seine charakteristische Verschiedenheit von dem — E behaupte, so wie die rothe Farbe bei den verschiedensten Abstufungen der Stärke gleichfalls beständig roth bleibe, sondern es setzen alle an den beiden Elektricitäten vergleichungsweise untersuchten Wirkungen es auſser Zweifel, daſs das + el. Fluidum die gröſste Masse habe, folglich der — el. Körper im Verhältniſs der Aufnahme zu dem + el.

1 System der allgemeinen Chemie, Berlin und Stettin 1818.

stehe, der dagegen durch den el. Procefs ärmer daran werde. Den Beweis hiervon findet Ruhland besonders in der gröfseren Kraft der + E zu zünden, zu schmelzen, in den Erscheinungen beim Durchschlagen eines Kartenblatts, in dem stärkern Schlage einer galvanischen Batterie vorzugsweise an dem Gliede, welches das + Ende berührt (wovon ich und alle diejenigen, die schon so oft diesen Versuch mit mir anstellten, gerade das Gegentheil fanden). Mit der Wärme und dem Lichte habe das el. Fluidum gemein, dafs sie alle drei gleicherweise der Cohäsion entgegengesetzt seyen. Dieses Gemeinschaftliche könne man durch das Collectivum *Phlogiston* bezeichnen. Es strebe bei dieser Entgegensetzung auch umgekehrt die Cohäsionskraft eines jeden Körpers dahin, dieses Phlogiston, als die ihm entgegegengesetzte Action auszutreiben, da erstere nur auf diese Weise eine Zunahme erhalte; dieses könne aber nur gelingen, wenn ein Körper mit einem andern zusammentrete, gegen welchen er sich eines Theiles seines Phlogistons zu entladen im Stande sey. Da aber auch jeder andere Körper das Bestreben habe, sich seines Phlogistons zu entledigen, so könne nur das Uebergewicht der *Action* des einen in Beziehung auf den andern allein diese Dephlogistication des einen an den andern möglich machen. Jedes el. Verhältnifs zweier Körper beruhe daher auf gegenseitiger *Erregung*, welche ihren Grund darin habe, dafs ein Körper den andern el. zu setzen suche, während jeder zugleich gegen die Einwirkung des andern reagire, wodurch dann beide zu einem Grade von Thätigkeit sich erhöben, welchen sie ursprünglich nicht hatten. Es folgt auch aus diesem Verhältnisse, dafs nach dem el. Processe beide Körper nicht mehr sind, was sie *vor* demselben waren, sondern dafs derjenige Körper, welcher in der Verbindung mit + E auftritt, und der *phlogistischere* ist, sich in Beziehung auf den — el. nach der Entladung *dephlogistisirt*, dieser *phlogistisirt* verhält. Ein relatives Steigen der Cohäsionskraft von jenem und ein Sinken derselben von diesem, somit Contraction auf jener Expansion auf dieser Seite, sind nothwendige Folgen davon.

Ich habe absichtlich etwas ausführlicher die Hauptideen Ruhland's, die sich auf die E. beziehen, mitgetheilt, um auf jenes oben angeführte Werk, das fast gar nicht beachtet worden ist, und doch viele originelle und mitunter fruchtbare

Ideen enthält, und besonders auf manche Schwierigkeiten hinweist, die man in den gebräuchlichen Erklärungen ganz übersieht, aufmerksam zu machen. Übrigens scheint mir Ruhland die Verschiedenheit der positiven und negativen E. durch Verschiedenheit der Spannung und Masse eines und desselben Fluidums eben nicht deutlicher gemacht zu haben, denn daſs hier nicht von einer *Tension* in dem gewöhnlichen el. Sprachgebrauche die Rede sey, leuchtet in die Augen.

Auf einem ganz andern Wege, als den die bisher vorgetragenen Theorien eingeschlagen haben, glaubte Biot [1] zu einer befriedigenden Erklärung einiger der wichtigsten, die E. begleitenden Erscheinungen gelangt zu seyn. Da nämlich verbrennliche Körper durch Comprimiren der Luft entzündet werden können (wie z. B. Schwamm in dem sogenannten pneumatischen Feuerzeuge) und Berthollet in seiner statique chimique gezeigt haben sollte, daſs die E. bei ihrem Durchgange durch die Körper in ihren kleinsten Theilchen eine wahre Compression bewirke, so wurde er auf die Idee geführt, daſs in dem el. Funken ein bloſs *mechanisches Resultat der Compression* wahrzunehmen sey. Denn vermöge der auſserordentlichen Geschwindigkeit, womit die E. durch die Körper gehe, deren Theile sie comprimire, sey es nicht anders möglich, als daſs sie aus der Luft Licht entbinden müsse, indem es uns schon gelinge, dieses durch ein weit minder schnelles Comprimiren zu bewirken. In der Compressionspumpe müssen wir die Luft durch Glas einschlieſsen, weil wir dem Kolben nur eine sehr beschränkte Geschwindigkeit zu geben vermögen, indeſs beim el. Funken die Theilchen mit einer so auſserordentlichen Geschwindigkeit comprimirt werden, daſs sie nie schnell genug ausweichen können, weshalb selbst in freier Luft die Compression sammt der Lichtentbindung oder dem Funken, der eine Folge derselben sey, vor sich gehen könne. Aber diese Wirkung sey local, und wenn Gasarten, die nicht fähig seyen, in einen andern Zustand durch Verbindung überzugehen, nach jeder Explosion zu ihren anfänglichen Dimensionen zurückkämen, wie dies der Versuch mit dem Kinnersley'schen Luftthermometer beweise [2], so nehmen sie bei dieser Dilatation sogleich alle Wärme wieder in

---

1 Ann. de Chemie. Tom. LIII. p. 324 ff.

2 S. *Elektrometer*.

sich auf, die sie hergegeben hätten, so daſs in ihrer Beschaffenheit keine bleibende Veränderung vor sich gehen könne. Dieses Licht, welches die E. aus den Gasarten durch Compression entwickele, müsse sie aus ihnen selbst auch in verdünntem Zustande, ja wegen der ungeheuern Geschwindigkeit, die ihr eigen sey, selbst aus den Dämpfen entbinden, wenn man im luftverdünnten Raum oder in der Torricelli'schen Leere operire, indem letztere selbst in dem am vollkommensten ausgekochten Barometer noch einen, wenn auch noch so dünnen Quecksilberdunst enthalte. Diesemnach erfolgen alle el. Lichterscheinungen auf eine rein mechanische Weise, und enthalten nichts eigentlich el. in sich. Indeſs steht dieser Erklärung die Schwierigkeit entgegen, daſs die el. Funken auch im Oele erscheinen, und die Zuleitungsdrähte einer mächtigen Volta'schen Säule, auch wenn sie im Wasser sich berühren einen sichtbaren el. Funken geben, endlich das anhaltende starke Leuchten luftleerer Röhren, wobei doch an eine Compression durch einen schnell bewegten Körper gar nicht zu denken ist.

Brugnatelli's Versuche [1], durch welche er die el. Materie als eine wahre Säure, die er el. Säure nannte, und selbst in Verbindung mit Metalloxyden, zu el.-sauren Salzen dargestellt haben will, werden ihren schicklichen Ort unter dem Artikel *Galvanismus* finden, wobei ich vorläufig bemerke, daſs die aus diesen Versuchen gezogenen Folgerungen über die Natur des el. Fluidums keinen Beifall verdienen.

Auch Röslin [2] hat sich in Erörterungen über die Natur der Elektricitäten eingelassen, und glaubt durch eine sehr weitläuftige Demonstration bewiesen zu haben, daſs gebundener Wärmestoff ein wesentlicher Bestandtheil der beiden E. sey, jedoch im geringeren Grade der negativen E. zukomme, woraus dann folge, daſs sich bei gleicher Intensität, durch den Grad der anziehenden und abstoſsenden Kraft gemessen, die freie — E weniger ausdehnsam und weniger für das Entzünden brennbarer und das Schmelzen schmelzbarer Materien wirksam zeige, weswegen sie kleinere, intensivere und stärker stechende Funken gäbe, und auch mit anderen Lichte leuchte als die freie + E, daſs ferner der gebundene Wärmestoff der beiden Elektricitäten bei

1 G. VIII. 284.
2 Kritische Prüfungen u. s. w. Cap. IX u. X.

ihrer wechselseitigen Ausgleichung zu 0 jedesmal frei werde, daſs aber die Lichtmaterie keinen Bestandtheil der Elektricitäten ausmache, sondern jedesmal erst, wenn die E. mit einem gewissen Grade von Dichtigkeit hervorbreche, die gebundene Lichtmaterie der umgebenden Luft oder Dünste, durch welche sie hindurchströme (die auch in der Torricelli'schen Röhre nie ganz fehlen) anziehe, und so erst leuchtend werde.

An diese Behauptungen werden sich am besten noch einige Bemerkungen über den jetzigen Standpunct der Elektricitätslehre in Betreff einer eigentlichen Theorie der el. Erscheinungen, wie die sich beim nochmaligen Rückblicke auf die neuesten Bemühungen in dieser Hinsicht ergeben, anknüpfen lassen.

Es scheint mir zuvörderst ganz ausgemacht zu seyn, daſs den *el. Erscheinungen eine eigenthümliche Materie, die zu den ätherischen Flüssigkeiten zu rechnen ist*, zum Grunde liege. Auf dem Standpuncte der dynamischen Physik, auf welchen Oersted in seiner Theorie sich befindet, würde freilich diese Materie in ein bloſses Spiel von Kräften sich auflösen, jedoch in keinem andern Sinne, als gleichfalls jede andere Materie. Indem ich also der E. ihre Materie vindicire, soll weiter nichts behauptet werden, als daſs sie einen *Bestand für sich* habe, daſs sie also nicht in einer bloſsen besondern Thätigkeit der ponderablen Körper, etwa in einer eigenthümlichen zitternden Bewegung derselben bestehe. Der Beweis hiervon liegt unwidersprechlich darin, daſs die Fortpflanzung dieser Thätigkeit durch einen Raum um so leichter und ungehinderter statt findet, jemehr er sich der *vollkommenen Leere* nähert. Da es also an einem anderweitigen Träger dieser Thätigkeit fehlt, so muſs sie ihn selbst mit sich bringen, d. h. die E. hat *eigenthümlichen materiellen Bestand.*

Eben so ausgemacht scheint es mir zu seyn, daſs es zweierlei Arten von E. giebt. Alle Gründe, welche aus den Erscheinungen des el. Conflicts für die Annahme einer eigenthümlichen Thätigkeit, und damit einer eigenthümlichen ätherischen Flüssigkeit auf der einen Seite dieses Conflicts angeführt werden, gelten durchaus und ohne Ausnahme auch für die andere Seite, jede neue Erfahrung diente nur zur Bestätigung hiervon, und zugleich zum Erweise, daſs auf jeder Seite eine specifische Thätigkeit statt findet, wovon die eine von der

andern bei aller Aehnlichkeit, die sie mit einander zeigen, durch ihre eigenthümlichen Reactionen mit den verschiedenen Kräften und Eigenschaften, sowohl der organischen als unorganischen Natur sich merklich unterscheidet. Von diesen Eigenthümlichkeiten einer jedem der beiden Thätigkeiten konnte in diesem Artikel noch nicht im ganzen Umfange gehandelt werden, doch ist schon genug davon angeführt, um jede einzelne erkennen zu können. Es muſs hier noch ausdrücklich bemerkt werden, daſs zu den merkwürdigsten Verschiedenheiten der Reactionen vorzüglich die chemischen und die Leitungsverhältnisse gehören, welche durch die Entdeckungen Erman's über unipolare und bipolare Leiter, und namentlich noch durch die späteren Versuche über das Verhalten der Glühlampe [1] für den *Dualismus* so bedeutend geworden sind, und von welchen an seinem Orte näher die Rede seyn wird. Diesen specifischen Thätigkeiten müssen also auch nach dem ersten Satze eigenthümliche ätherische Flüssigkeiten zum Grunge liegen, deren eine die sogenannte *positive*, die andere die *negative* E. ausmacht.

Was nun das Verhältniſs dieser beiden ätherischen Flüssigkeiten gegen die übrigen Inponderabilien betrifft, insbesondere gegen diejenigen, von welchen die Wärme und Lichtthätigkeit abhängt, so ist es als eben so ausgemacht anzusehen, daſs sie mit diesen nicht identisch sind, möge man nun diese Verschiedenheit mit Oersted als eine bloſse Verschiedenheit der Wirkungsform derselben Grundkräfte, oder als eine Verschiedenheit der Materien selbst betrachten. Eben so unleugbar ist aber auch, daſs sie mit diesen Inponderabilien in einem genauen Verkehr stehen, der jedoch bis jetzt noch nicht vollkommen genügend aufgeklärt werden konnte. Was zuerst die Beziehung auf die *Wärme* betrifft, so haben noch vor den Galvanischen Versuchen schon die früheren, vorzüglich von van Marum angestellten [2] wenigstens den *negativen* Werth gehabt, daſs sie für die Beseitigung irriger Ansichten ganz entscheidend waren. Es folgt nämlich aus denselben unwidersprechlich, daſs keine von den beiden Elektricitäten an und für sich durch Wärme thätig ist, da auch die durch die stärkste Maschine aufs Maximum der Spannung geladenen Conductoren

1 Schriften der Berl. Akad. der Wissensch. Berl. 1820. S. 351.

2 Seconde continuation etc. p. 84 ff.

an der möglichst geringen Masse nicht die mindeste Temperaturerhöhung erzeugen, dafs dagegen die Wärme im Conflicte der beiden Elektricitäten oder im Processe ihrer Ausgleichung zum Vorschein kommt. Dafs zu dieser Wärmeerzeugung die Luft nicht wesentlich nothwendig sey, ja dafs sie vielmehr die Wärmeerzeugung vermindert, indem sie vermöge ihrer Capacität einen Theil der thätig gewordenen Wärme latent macht, ergab sich gleichfalls aus diesen Versuchen, indem derselbe el. Strom, über die Kugel eines Thermometers geleitet, in demjenigen Verhältnisse mehr Wärme erzeugte, in welchem die Luft mehr verdünnt war. Die Wärme hat also ihren Ursprung weder einer mechanischen Compression der Luft, noch einem chemischen von der Luft abhängigen Processe (entweder einer Verbindung des Sauerstoffs mit dem Stickstoffe, oder einer Oxydation der Körper, über welche der el. Strom hingeht) zu verdanken. Würde die Ausgleichung der beiden Elektricitäten, ohne durch die Natur des Körpers, an welchem oder um welchen herum sie sich befindet, modificirt zu werden, lediglich im Verhältnisse der sich ausgleichenden Quantitäten eine Temperaturerhöhung geben, so könnte man unbedingt den Satz aufstellen, dafs die Elektricitäten selbst gebundenen *Wärmestoff* enthalten, der frei werde, sobald das $\pm$ E seinem stärkern Zuge zum $\mp$ E folge, um sich zu 0 zu vereinigen. Aber diesem widerspricht die Erfahrung. Wärme entsteht nur in dem Verhältnisse, in welchem die Elektricitäten, wenn grfse Quantitäten mit einander in Conflict kommen, in ihrer Ausgleichung Widerstand finden, oder in dem Verhältnisse, in welchem sie nicht vollkommen geleitet werden. Gier bleibt also immer noch der mögliche Fall, dafs eine Reaction der Elektricitäten gegen den relativ unvollkommenen Leiter, auf eine ähnliche Weise wie sonst durch Druck oder Reiben die höchsten Grade von Hitze erregt werden können, die Quelle der Temperaturerhöhung werde. Indefs stimmen hinwiederum manche Versuche, doch nur unvollkommen mit einer solchen Erklärung überein namentlich der oben erwähnte van Marum'sche; wo es nicht recht zu begreifen ist, wie ein von dem Ende eines kleinen hölzernen Cylinders ausgehender und um die Kugel des Thermometers sich verbreitender el. Strom an dieser Kugel selbst eine *Reibung* hervorbringen soll. Auch müfste man annehmen, dafs sehr dünne Platindräthe, die durch einen fortdauernden

el. Strom eines Hare'schen Calorimotors [1] in beständigem Weifsglühen erhalten werden können, und also fortdauernd Licht und Wärme ausstrahlen, gleichsam ein unerschöpfliches Magazin von beiden wären. Es ist also allen übrigen Erklärungen analoger, dafs die Quelle der Wärme sich in den Elektricitäten selbst finde, und dafs dieselbe durch ihre Reaction auf einander frei werde. Da nun nicht jede Art der Ausgleichung oder Verbindung der beiden Elektricitäten zu 0 Wärme erzeugt, sondern nur eine mit Widerstand verbundene, so läfst sich annehmen, dafs in Folge der damit gegebenen starken Verdichtung der Elektricitäten eine wahre Zersetzung derselben statt finde, und dafs mit dieser Zersetzung ihr vorher gebundener Wärmestoff frei werde. Es folgt daraus aber auch, dafs der so *zersetzte Antheil* für die Bildung von 0 verloren gehe, und da blofser Wärmestoff an und für sich noch nicht E. ist, so fragt sich, unter welcher Gestalt dann etwa jene andern Stoffe, welche im engern Sinne das eigentliche Grundwesen der Elektricitäten bilden, zu Vorschein kommen. Hier stellt sich uns indefs eine noch in Dunkel gehüllte Seite der E. entgegen. Dafs aufser der Wärme (und dem Lichte) noch etwas anderes bei dieser Zersetzung frei werde, zeigt der so höchst eigenthümliche und auffallende *Phosphorgeruch*. Auch manche Erscheinungen beim Einschlagen des Blitzes, wo durch schnelle Verdichtung grofse Massen von E. auf einmal zersetzt werden, deuten auf ein solches Präcipitat [2]. Ritter schlug vor, sehr vielmal nach einander grofse Batterieen durch einen Eisendraht sich entladen zu lassen, und dann nachzusehen, welche Veränderung er erlitten haben möchte. Vielleicht würde man dann jenen *eigenthümlichen el. Stoff*, den wir noch immer suchen, finden.

Auch den *Lichtstoff* hat man aus denselben Gründen wie den Wärmestoff in den Elektricitäten selbst anzunehmen. Wenn dieser, wie Röslin weitläuftig zu beweisen sucht, durch die E. erst bei ihrem Ausbruche, weil sie dann die umgebende Luft an Dichtigkeit übertreffe [3], der Luft entzogen werden soll, und zwar durch eine dann stärkere Anziehung, als die der Luft gegen ihn, so ist nicht abzusehen, wie er im Augenblicke der

1 S. *Galvanismus* und *Trogapparate*.
2 Vergl. *Blitz*.
3 Wie Luft und E. in Rücksicht auf Dichtigkeit einander vergleichbar seyen, ist nicht wohl begreiflich.

Anziehung auch wieder frei zu strahlendem Lichte wird. Auch steht dieser Erklärung der glänzende el. Funke bei der Berührung der Leitungsdrähte einer starken Volta'schen Säule unter Wasser, Oel u. s. w. entgegen. Die Befreiung des Lichtes beruht auf einem ähnlichen Zersetzungsprocesse durch bloſse Verdichtung (wobei de Lüc's Theorie vollkommen anwendbar ist), doch entweicht das Licht noch leichter als die Wärme, da es mit viel gröſserer Expansivkraft als diese begabt, und daher loser gebunden ist; daher viele el. Lichterscheinungen ohne Wärmeveränderung.

Der *Unterschied* und *Gegensatz der beiden Elektricitäten* kann nicht bloſs in dem quantitativen Verhältnisse dieser beiden Inponderabilien (Wärme und Licht) liegen, da die so starke Anziehung jener gegen einander aus einer solchen Zusammensetzung gar nicht begreiflich wäre. Wir müssen vielmehr für jede derselben wie schon oben bemerkt ist, eine *eigenthümliche Grundlage* annehmen, die wir das *Elektrikon* im engern Sinne nennen wollen. Doch kann allerdings auch das verschiedene quantitative Verhältniſs jener Inponderabilien mit Antheil an ihrem verschiedenen Verhalten haben. Bei gleicher relativer Quantität des — E in Beziehung auf das + E, so daſs nie vollkommene Neutralisation aus ihrer Verbindung resultirt, bringt Letzteres gröſsere Wärme hervor. Dies zeigt sich sowohl in gewöhnlich el. als galvanichen Versuchen. Erstere sind in dieser Hinsicht weniger sicher, weil z. B. beim Entladen einer Leidner Flasche jedesmal Uebergewicht auf derjenigen Seite ist, von wo aus die Ladung erfolgt, und wo sich die freie Spannung befindet. Dagegen geben die galvanischen Versuche ein unzweideutiges Resultat, weil die beiden Pole einer Säule in der Gröſse ihrer Spannung einander vollkommen gleich sind. So fand z. B. Childern in seinen Versuchen mit seinem galvanischen Riesenapparate von 20 Plattenpaaren von Zink und Kupfer, von 6′ Länge und 2′ 8″ Breite oder von 32 Quadratfuſs auf beiden Seiten zusammen, daſs unter ganz gleichen Umständen, als nämlich gleiche Menge von Quecksilber in zwei Schalen von gebranntem Thon mit den beiden Polen der Säule und unter sich durch Platindrähte von solcher Dicke und Länge, daſs der el. Strom sie stets rothglühend erhielt, in Verbindung gesetzt wurden, das Quecksilber am — Pole nach 20 Minuten

auf 112°, am + Pole dagegen auf 121° F. stieg [1], und wenn man eine mächtige Volta'sche Säule durch einen Kohlenstift von etwa 2 — 3'' Länge und 1''' Dicke entladet, so fängt dieser Stift an beiden Enden an zu glühen, jedoch am + Ende etwas früher. Von diesem geringeren Verhältnisse des gebundenen Wärmestoffs in der negativen E. mag es auch herrühren, dafs bei gleicher Intensität die Funken aus dem negativen Conductor stets kürzer sind, als aus dem positiven, und die negativen Feuerbüschel sich viel weniger als die positiven ausbreiten. Einige Versuche scheinen darauf hinzudeuten, dafs der in beiden Elektricitäten gebundene Lichtstoff nicht von gleichartiger Beschaffenheit ist, sondern in demselben eine Art von polarischem Gegensatze wie im Sonnenspectrum statt finde.

Wenn man auf den el. Funken genau achtet, so kann man in sehr vielen Fällen die beiden Hälften, aus denen er besteht, schon an der Farbe von einander unterscheiden, besonders wenn die Funken nicht zu kurz sind, sondern die Auffangkugel beinahe die gröfste Entfernung hat, bei welcher noch Funken überschlagen; die positive Hälfte erscheint dann stets mehr purpurfarben, und die negative Hälfte blau, auch ist der weit ausgebreitete positive Feuerbüschel mehr von der erstern, der kurze negative Feuerbüschel mehr von der letzteren Farbe. Es wirkt aber gerade auch die positive E. gleich dem rothen Lichte mehr oxydirend und erwärmend, und die negative E. gleich dem blauen Lichte vielmehr desoxydirend und weniger erwärmend. Da indessen die Farbe des el. Funkens noch durch manche andere Umstände, insbesondere durch die Natur des Mediums, durch welches er hindurch schlägt, bestimmt wird [2], so ist diese auf einem Farbengegensatze in den beiden Elektricitäten gegründete Anzeige zweideutig.

Was endlich die Erregungsart der E. durch Reiben betrifft, welche hier vorzüglich in Betrachtung kommt, so scheint wenigstens soviel ganz ausgemacht, dafs sie von einem chemischen Processe, namentlich von einer Oxydation eines der beiden an einander geriebenen Körper durch die umgebende Luft ganz unabhängig ist, in welcher Hinsicht ich auf die obige Prüfung der Parrot'schen Oxydationstheorie verweise. Uebrigens ist der

---

1 G. XXII. 353.

2 S. *Funken, elektrischer.*

Vorgang hiebei noch in ein tiefes Dunkel gehüllt, dessen Zerstreuung weiteren Untersuchungen überlassen bleiben mufs. Dafs man solche Dunkelheiten durch blofs Worte, die im Grunde nichts mehr enthalten als die nackte Erscheinung, nicht aufzuhellen vermöge, bedarf nicht erinnert zu werden. Dieses gilt z. B. von dem „Resultate aller Resultate," welches Jos. Weber aus seinen vielfachen Reibungsversuchen mit seidenen Bändern gezogen hat [1], wonach die E. nichts weniger als materiell, sondern die allgemeine Kraft in Form der Fläche sich manifestirend, und zwar das 0 E. die Synthese von Expansion und Contraction oder indifferent, das + E die dynamische Flächenkraft von positivem Charakter = Expansion, das — E die dynamische Flächenkraft von negativem Charakter = Contraction seyn soll, und der ganze Reibungs-Procefs darin bestehe, dafs sich die indifferente Flächenkraft differenziire!! Ohngefähr von derselben Art sind die sogenannten naturphilosophischen Constructionen der E., welche Jos. Weber zum Vorbilde gedient haben, wie z. B. von Oken [2], wo Elektrismus eine Flächenfunction ohne alle Linie genannt wird, welche nur die *Spannung* der Oberflächen der Körper gegen einander sey. Weiterhin wird aber derselbe Elektrismus auch *Spannung der Luft* mit den einfachen Elementen, und also auch *Spannung der Luftprincipien* selbst genannt, ferner Duplicität geheftet an die beiden Luftprincipien Licht und Aetherspannung, erscheinend unter zwei Formen als *Lichtstoff*- und als *Schwerestoff*- elektrismus, ersterer das + E, das energischere, in sich selbst active, der Lichtelektrismus dargestellt im Sauerstoffe. Weniger willkürlich und sich genauer an die Erscheinungen anschliefsend ist die gleichfalls aus gewissen höheren Principien einer a priorischen Physik abgeleitete Construction der Phänomene der E. von Dr. Bartels [3], doch ohne dafs auch durch diese Darstellung die wahren Dunkelheiten in dieser Lehre weiter aufgeklärt worden wären. Eine weitere Darstellung solcher

---

1 Das Wesen der E. u. s. w. Sulzbach 1819.

2 Lehrbuch der Naturphilosophie I. 112.

3 Anfangsgründe der Naturwissenschaft. 1stes Bänd., Leipz. 1821. S. 227 ff.

hyperphysischer Theorien liegt außer dem Plane eines physikalischen Wörterbuchs [1]. *P.*

---

1 Zur Literatur über die Elektricitätslehre mögen aus der grofsen Menge von Schriften, worin dieselbe im Ganzen abgehandelt ist, nur diejenigen hier erwähnt werden, die auf irgend eine Weise Epoche machten, und auch in unsern Tagen noch einiges Interesse haben.

J. G. Krünitz. Verzeichnifs der vornehmsten Schriften von der E. und den el. Curen. Halle 1769. 8. Jos. Priestley. Geschichte und gegenwärtiger Zustand nebst eigenthümlichen Versuchen, übersetzt von J. G. Krünitz 1772. gr. 4. K. G. Kühn. Geschichte der medicinischen und physikalischen E. und der neuesten Versuche in dieser nützlichen Wissenschaft. Leipz. 1783. 1785. 2 Thle. 8. K. G. Kühn. Die neuesten Entdeckungen in der physikalischen und medicinischen E. als eine Fortsetzung der Geschichte u. s. w. 1ter Thl. Leipz. 1796. 8. 2ter Thl. Leipz. 1797. Lettres sur l'électricité par Mr. l'abbé Nollet. Paris 1753. 8. J. Alb. Euler disquisitio de causa physica electricitatis ab acad. scient. petropol. praemio ornata Petrop. et Lips. 1755. B. Franklin's Briefe von der E. aus dem Engl. übers. mit Anmerkungen von Wilke. Leipz. 1758. 8. F. U. Th. Aepinus tentamen theoriae Electricitatis et Magnetismi. Petrop. (1759) 1787. 4. Tib. Cavallo vollständige Abhandlung der theoretischen und praktischen Lehre von der E. aus dem Engl. übers. von J. S. T. Gehler 1777. 4. Ausg. von Baumann. Leipz. 1797. 2. Bd. 8. I. Ingenhouss. Anfangsgründe der E. aus dem Engl. von Molitor Wien. 1781. 8. J. A. Donndorf. Lehre von der E. theoretisch und praktisch auseinander gesetzt. Erfurt 1784. 2 Thl. 8. Adam's Versuch über die E. aus dem Engl. Leipz. 1785. 8. John Cuthbertson's Abhandlung von der E. Aus dem Holländischen. Leipz. 1786. 8. Martinus van Marum. Beschreibung einer ungemein grofsen Elektrisirmaschine und der damit im Teyler'schen Museum zu Haarlem angestellten Versuche. Aus dem Holl. Leipz. 1786. 4. Erste Fortsetzung aus dem Holl. Leipz. 1788. 4. Zweite Fortsetzung. Leipz. 1798. 4. Lord Mahon. Grundsätze der E. aus dem Engl. mit Anm. von Seeger. Leipz. 1789. 8. Lichtenbergs Zusätze zu Erxlebens Anfangsgründen der Naturlehre. Sechste Auflage. Gött. 1794. 8. Joh. Ant. Heidmann. Vollständige auf Versuche und Vernunftschlüsse gegründete Theorie der E. zwei Bände Wien 1799. 8. Haüy's Darstellung der Theorie der E. und des Magnetismus. Aus dem franz. übers. von D. Karl Murhard. Altenburg, 1801. 8. J. W. Ritter das el. System der Körper. Leipz. 1805. 8. M. Gälle. Beiträge zur Erweiterung und Vervollkommung der Elektricitätslehre. Salzburg. 1816. 8. 2 Bde. G. J. Singer. Elemente der E. und Elektrochemie. Aus dem Engl. von C. H. Müller. Berlin 1819. Chr. L. Röslin Kritische Prüfung und Berichtigung der bisherigen Elektricitätslehre. Ulm 1823. 8. Sammlung elektrischer Spielwerke für junge Elektriker. 9te Auflage mit 9 Kupfern. gr. 8. Nürnberg. 1804.

Elektricität, medicinische.

Electricitas medica; Électricité medicale; *Medical Electricity.* Unter diesem Namen werden die Anwendungen der E. in der Medicin als Heilmittel gegen verschiedene Krankheiten, und als Widerbelebungsmittel im Scheintode begriffen.

So wie die Wirkungen der E. durch Erfindung der Elektrisirmaschine, noch mehr aber durch die der Kleist'schen Flasche vorzüglich auf den menschlichen Körper in einem so hohen Grade verstärkt worden waren, konnte der Gedanke nicht lange ferne bleiben, die E. auch als Heilmittel in Krankheiten anzuwenden. Einige auffallende Curen bedeutender Krankheiten brachten dieses Mittel erst in sehr groſsen Ruf; da die zu hochgespannten Hoffnungen indeſs nicht immer erfüllt wurden, und bei der damals noch unvollkommenen Theorie auch Miſsgriffe unvermeidlich waren, kam das erst so hoch gepriesene Mittel wieder in Miſscredit. Erst nach Irrthümern und Uebertreibungen kam man allmälig zur richtigen Würdigung desselben, und da in spätern Jahren bei dem steigenden Interesse an der E, sowohl Physiker als Aerzte sich häufig mit der Anwendung dieses Mittels in Krankheiten beschäftigten, so haben wir dadurch einen reichen Vorrath von Erfahrungen gewonnen, aus welchem sich jetzt mit hinlänglicher Sicherheit allgemeine Resultate über die Wirkungsart und die Heilkräfte der E. so wie Vorschriften für ihre Anwendung ableiten lassen. Wir schränken uns hier nur auf das Wesentlichste ein, soweit die eigentliche Physik hierbei eine Stimme hat und zur Aufklärung und Leitung des Arztes beitragen kann, da das genauere Detail vorzüglich über die glückliche Anwendung der E. in verschiedenen Krankheiten mehr in die Arzneikunde gehört.

I. Das Historische.

Kratzerstein wird als der erste angeführt, der im Jahre 1744 zu Halle die Lähmung eines Fingers durch E. gehoben hat. Im Jahre 1748 heilte Jallabert zu Genf eine durch den Schlag eines Hammers entstandene Lähmung des Arms durch Elektrisiren mit Funken und Erschütterungen, worauf Sauvages zu Montpellier diese Curen vervielfältigte und berühmt machte. Die unschickliche Wahl der Behandlung verursachte

aber gerade in dieser ersten Periode, dafs die Proben nicht stets so ausfielen, als man wünschte, unstreitig darum, weil man die Kranken durch allzustarke Schläge aufs heftigste angriff und fast mifshandelte. Daher wurden die Meinungen sehr getheilt und häufige Streitschriften gewechselt. Dr. Hart[1] und Franklin[2] führen Fälle an, wo die E. nicht geholfen, vielmehr wohl gar geschadet haben soll, aber Franklin verfehlte die erst später in ihrem ganzen Umfange erprobte gelindere Anwendungsart der E. Lower[3] schlug zuerst diese gelindere Behandlung durch einfaches Elektrisiren auf dem Isolirgestelle, Funken und höchstens schwache Erschütterungen vor, und verrichtete auf diesem Wege so wie der berühmte Wesley eine grofse Menge glücklicher Curen. Auch de Haen[4] erklärte sich sehr für den medicinischen Gebrauch der E., wovon Ferguson[5] und Hartmann[6], in ihren damals erschienenen Schriften viele vortheilhafte Beispiele anführen. Von dieser Zeit an ist der Gebrauch der E. in Krankheiten vorzüglich durch die englischen Aerzte empor gekommen, namentlich durch Partington[7], dem man insbesondere die Einführung der sogenannten *Directoren* verdankt, Fothergill[8] Birch[9] u. a. Cavallo erwarb sich ein besonderes Verdienst durch eine diesem Gegenstande eigends gewidmete Schrift[10]. Doch auch die deutschen und holländischen Physiker und Aerzte blieben nicht zurück, unter welchen vorzüglich genannt zu werden verdienen: Kühn[11],

---

1 Philos. Transact. XLVIII. P. II. p. 786.

2 Philos. Transact. Vol. L. P. II. p. 481.

3 Electricity rendered useful. London 1760. 8.

4 Ratio medendi Vol. I. p. 234.

5 Introd. to electricity. London 1770. 8. Sect. 8.

6 Die angewandte E. bei Krankheiten des menschlichen Körpers. Hannover 1770. 8.

7 Cavallo's vollst. Abhandl. der E. Bd. II. Leipz. 1797. S. 57 ff.

8 Philos. Transact. Vol. LXIX.

9 Considerations on the efficacy of electricity in removing female obstructions etc. übers. in der Sammlung auserlesener Abhandl. zum Gebrauche praktischer Aerzte. V. St. 4. N. 1.

10 Essay on the theory and practice of medical electricity London 1780.

11 Geschichte der medicinischen und physikalischen E. und der neuesten Versuche, die in dieser nützlichen Wissenschaft gemacht worden sind. Leipz. 1785. 2 Thle.

Böckmann [1], Wilh. van Barneveld [2], van Troostwyck, Krayenhoff [3] und Deimann [4]. Trotz der vielen günstigen, Erfahrungen, welche diese verschiedenen Schriften enthalten, wird indefs die E. in der jetzigen medicinischen Praxis doch nur selten angewandt, weil die Mittel dazu zu umständlich und wohl auch zu kostbar sind, und in neuern Zeiten ist sie vollends durch die Anwendung des Galvanismus verdrängt worden.

II. Verschiedene Anwendungsarten der E. in Krankheiten und dabei gebräuchliche Werkzeuge.

Man kann die E. zur Heilung der Krankheiten in sehr verschiedenen Graden anwenden, welche nach der besondern Form, in welcher die E. hierbei wirkt, auf fünf Hauptabstufungen zurückgebracht werden können, nämlich 1. das el. Bad.; 2. das unmerkliche el. Durchströmen. 3 der el. Hauch oder das el. Ausströmen; 4. die Funken; 5. die el. Schläge oder die verstärkte E. Jede dieser 5 Hauptarten läfst wieder in Rücksicht auf die Stärke ihrer Einwirkung mannigfaltige Modificationen zu.

1. *Das el. Bad.* Hierbei wird der Körper des Kranken gleichsam mit E. angefüllt, indem man denselben isolirt, und mit dem Leiter der Elektrisirmaschine in unmittelbare Verbindung setzt. Zu dieser so wie zu einigen der nachfolgenden Anwendungen ist ein gut eingerichtetes *Isolatorium* erforderlich. Dieses wird am besten aus einem hinlänglich grofsen und starken Brette von gut ausgetrocknetem Holze, um nöthigenfalls einen Stuhl darauf setzen zu können, verfertigt, das an den Ecken abgerundet, gut lackirt ist, und auf vier starken, einen guten halben Fufs langen, wohl überfirnifsten, massiven Glassäulen ruht. Böckmann hat für gewisse Fälle ein el. *Bette* vorgeschlagen, wo-

---

1 Ueber die Anwendung der E. bei Krankheiten. Durlach 1787.

2 Medicinische E. Aus dem Holländischen. Leipz. 1787. 8.

3 De l'application de l'électricité à la médecine 1788. 4.

4 Von den guten Wirkungen der E. in verschiedenen Krankheiten. Aus dem Holländischen. Mit Anmerkungen und Zusätzen von Kühn. Kopenhagen 1793. 2 Bde.

von das Wesentliche in Folgendem besteht. Das *Bettgestell* wird von einem sehr trockenen, mit Firnifs überzogenen, oder noch besser von einem im Backofen gedörrten und mit Oel getränkten Holze gemacht, und von 6—8 gläsernen mit Siegellack überzogenen Füfsen getragen. Die *Bettstücke* bestehen aus 1 bis 2 Haar-Matratzen, 1 oder 2 ähnlich gefüllten Kissen und einer leichten Decke. Die übrigen Apparate, die zu diesem Bette gehören, beziehen sich auf die zweckmäfsige Zuleitung und Einwirkung der E. auf den Kranken und die einzelnen Theile desselben, von denen im Fortgange die Rede seyn wird. Zwischen dem Kranken, der sich auf dem Isolatorium oder in dem isolirten Bette befindet, und dem Conductor der Maschine wird eine Verbindung durch eine Kette gemacht, an welcher alle Spitzen und scharfe Ecken, um das Ausströmen zu verhüten, so viel möglich zu vermeiden, und deren Gelenke von etwas dickerem Metalldrahte zu verfertigen sind. Cavallo empfiehlt zu eben diesem Zwecke sehr passend die leitende Verbindung aus Gold-, Silber- oder Kupferfäden zu machen, dergleichen man zu den Tressen gebraucht, und welche aus dünnen Metallblättchen bestehen, die um einen seidenen oder leinenen Faden gewunden sind. Um einige solcher Metallfäden wickelt man ein seidenes Bändchen dicht herum, und näht es zusammen, so dafs nur an jedem Ende ein kleines Stück der Metallfäden unbedeckt bleibt, von welchem das eine an dem ersten Leiter, das andere an einem Theil des Kranken, der zu diesem Behuf eine Hülle von Flanell mit Rauschgold oder unächtem Goldschaum gefüttert und mit einem Oehre versehen, bedeckt seyn kann. In andern Fällen kann man die E. auch mit andern Instrumenten unmittelbar auf den Kranken einwirken lassen. Die Verbindungskette wird der *Zuleiter* genannt. Von der Anwendung des el. Bades ist wohl am wenigsten zu erwarten, da die E. überhaupt nur in ihrem freien Durchströmen sichtbare Wirkungen auf den menschlichen Körper hervorbringt, und da schon oben[1] angeführte Versuche bewiesen haben, dafs die Beschleunigung des Pulses und Vermehrung der Ab- und Aussonderungen, insbesondere der unmerklichen Ausdünstung, welche man dieser Anhäufung der E. im menschlichen Körper, an dessen Oberfläche sie indefs nur verdichtet ist,

1 Vergl. *Elektricität.*

zugeschrieben hat, in der Erfahrung der Regel nach nicht gegründet sind. Da indeſs gewisse Personen für die E. sehr empfindlich sind, und doch immerfort ein Abfluſs der zum Kranken geleiteten E. durch die Haare und durch die unmerkliche Ausdünstung geschieht, der bei einem reichlichen Zuflusse von einer sehr wirksamen Maschine aus in Betracht kommen kann, so läſst sich der Nutzen, welchen das el. Bad in einzelnen Fällen geleistet hat, nicht durchaus bezweifeln.

2. *Das mehr unmerkliche Durchströmen der E. durch den Körper.* Die Bedingung zu demselben ist, daſs die E. durch einen ununterbrochenen Leiter, von dem Conductor aus, welchem die E. von der Elektrisirmaschine zugeführt wird, nach dem Erdboden oder dem entgegengesetzten Conductor abgeleitet werde, und der Theil des menschlichen Körpers, auf welchen dieser ununterbrochene Strom wirken soll, einen Theil dieser Leitung bilde. Wenn man irgend einen Theil zwischen zwei Zuleiter einschlieſst, wovon der eine mit dem positiven Conductor, der andere mit dem isolirten Reibzeuge verbunden ist, so geht gleichsam ein doppelter el. Strom durch denselben, der negative von dem Reibzeuge, der positive von dem Conductor her, und diese Anwendungsart des sogenannten unmerklichen el. Stromes ist unstreitig die wirksamere, wenn gleich auch bei einer bloſs einseitigen Verbindung des zu elektrisirenden Theils mit dem einen oder andern Conductor und der Ableitung von der andern Seite nach dem Erdboden in gewissem Sinne ein doppelter Strom statt findet, der nur von der 0 Seite her immer schwächer ist, als von derjenigen Seite aus, von welcher der Strom durch die freie E. eingeleitet wird. Wenn gleich dieser unmerkliche el. Strom, selbst von der stärksten Elektrisirmaschine ausgehend, keine Empfindung oder sonstige unmittelbar bemerkliche Veränderung in dem durchströmten Theile hervorbringt, so ist demselben doch nicht alle Wirksamkeit abzusprechen, da namentlich die Erfahrung einen bemerklichen Einfluſs auf die Beförderung der monatlichen Reinigung bewiesen hat, wenn dieser Strom quer durch das weibliche Becken geleitet worden ist, indem man einerseits den positiven Zuleiter in die Gegend der Lendenwirbel in ein Häkchen an den Kleidungsstücken, oder noch besser, in einem die Haut unmittelbar bedeckenden, mit unächtem Golde gefütterten Flanell einhängte, während der negative Zuleiter in den Schooſs der

sitzenden Kranken gelegt wurde. Es gilt übrigens für die Anwendungsart dieses doppelten el. Stromes alles dasjenige, was noch unter dem Artikel *Galvanismus* und *Volta'sche Säule* über die Anwendung des Stromes dieser letztern vorkommen wird, mit dem er im Wesentlichen übereinstimmt, dem er jedoch an Intensität weit nachsteht.

3. *Der el. Hauch oder Wind, oder das el. Ausströmen.* Dies ist eine vorzüglich wirksame Methode des Elektrisirens in Krankheiten, die vorzüglich der Engländer PARTINGTON eingeführt hat, welche oft allein zur Heilung hinreicht, und mit welcher man in sehr vielen Fällen am besten den Anfang macht. Sie besteht wesentlich darin, daſs man den aus Spitzen, nach Beschaffenheit dieser letzteren, mit verschiedener Stärke ausströmenden el. Feuerbüschel auf den kranken Theil wirken läſst. Zunächst bringt er zwar die Empfindung eines sanften Windes oder Hauches hervor, aber länger auf sehr empfindliche Theile z. B. die Augen einwirkend, erregt er zuletzt das Gefühl einer leichten Wärme, und vermehrt die Absonderung der Thränen. Man bedient sich eigener sogenannter *Directoren*, welche aus geraden oder am Ende gebogenen messingenen Stäben bestehen, die durch gut überfirniſste Handgriffe in Glas isolirt, mit einem Haken versehen sind, um den Zuleiter bequem einhängen zu können, und auf deren Enden zugespitzte Kegel theils von Metall, theils von Holz sich aufschrauben lassen. *Metallene* in eine feine Spitze auslaufende *Kegel* geben den mildesten Strom, einen stärkeren etwas *abgestumpfte*, den stärksten aber Kegel von nicht zu trockenem Holze, am besten Buchsbaumholze, die man von einer Länge von 1 bis 1,5 Zoll mehr oder weniger spitz auslaufend nimmt, und deren Strom aus einer groſsen Anzahl ungemein kleiner Funken besteht, die sehr bald in dem Theile, auf welchen sie wirken, Wärme erzeugen. Man kann auch diesen Strom auf den Kranken wirken lassen, indem man ihn auf dem Isolatorium mit dem isolirten Leiter in Verbindung setzt, und die Spitze, die dann selbst mit dem Erdboden leitend verbunden seyn muſs, dem zu elektrisirenden Theile nähert. Da man diese el. Ausströmung am häufigsten auf die Augen anwendet, Fig.
so ist es zweckmäſsig, den Kegel in einer weiten Glasröhre zu 35.
befestigen, und zwar so, daſs sein hinteres abgestumpftes Ende aus der Glasröhre hervorragt, das bei der zweiten Art der An-

wendung zum Handgriffe dient, das vordere zugespitzte Ende hingegen einige Linien tief in der Röhre zurücksteht, um jede Verletzung des Auges durch die Spitze zu vermeiden. Indem man die hölzerne Spitze mit angemessenen Flüssigkeiten z. B. mit Kamphergeist, Rosmarinöl, Kajaputöl u. s. w. befeuchtet, oder bei Anwendung eines Metallconus an ihrem zugespitzten Ende ein mit diesen Flüssigkeiten getränktes Schwammstückchen befestigt, so kann man sehr bequem jene in Dunst sich verwandelnden Flüssigkeiten auf eine gelinde Art auf das Auge einwirken lassen.

Um den el. Strom tief in das Innere des Gehörganges zu bringen, bedient man sich einer Glasröhre von der Dicke
Fig. 36. eines Pfeifenstiels, welche hinlänglich stark in ihren Wandungen ist, damit sie nicht leicht zerbrochen werden könne, 3 bis 4″ lang, in ihrem Innern einen dünnen Messingdraht enthaltend, welcher von dem einen Ende kaum aus der Oeffnung der Glasröhre hervorragt. Um ihn in dieser Lage zu erhalten, schmelzt man die Glasröhre an diesem Ende um ihn her zu. Dadurch wird dieser Theil, welcher bestimmt ist, in den Gehörgang gebracht zu werden, kuglich und abgerundet, das entgegengesetzte Ende des Messingdrahtes steht aus der Glasröhre hervor und ist hakenförmig umgebogen, um den Zuleiter einhängen zu können.

4. *Einfache Funken.* Man kann sie entweder aus dem Theile des auf dem Isolatorium befindlichen, und mit dem Conductor leitend verbundenen Kranken *ausziehen*, oder dem nicht isolirten Kranken vermittelst des am isolirten Handgriffe gehaltenen, und durch den Zuleiter mit dem Conductor der Maschine verbundenen, Directors *zuführen*, an dessen Messingdraht vorn statt des zugespitzten Conus eine Kugel aufgeschraubt ist. Kleine, aber sehr stechende, empfindliche Funken giebt eine auf den Director aufgeschraubte Kugel von hartem Holze. Führt man über den mit Flanell oder Baumwolle bedeckten, zu elektrisirenden Theil den Funkenzieher mit seiner Kugel unmittelbar hin und her, so bekommt dieser Theil eine Menge kleiner Funken, welche sehr bald Röthe der Haut und vermehrte Wärme hervorbringen. Um die Funken zu verstärken, kann man die Haut mit Oel einreiben; sie werden dann viel lebhafter empfunden und eine viel stärkere Röthe hervorbringen, als dieselben Funken an andern Stellen. Der

stärkere Widerstand des nicht leitenden Oels verursacht bei derselben Entfernung des Funkenziehers die Nothwendigkeit einer gröfseren Anhäufung der E. im Conductor.

Sollen sehr empfindliche Theile z. B. die Zunge, die Augen, das innere Ohr die Wirkung der Funken empfinden, so bedient man sich im Anfange sehr kleiner Kugeln, oder auch nur abgerundeter Drähte. Aus den geschlossenen Augenliedern nimmt man kleine Funken, und zugleich dann und wann aus dem obern und untern Rande der Augenhöhle, um den Ober- und Unter-Orbitalnerven zu treffen. Doch kann man auch aus dem Augapfel unmittelbar Funken zu ziehen veranlafst seyn. Um Funken in das Innere des Gehörorgans zu leiten, bringt man den oben beschriebenen Draht in den Gehörgang so tief wie möglich, isolirt den Kranken, und zieht aus dem zum Haken umgebogenen Ende des Messingdrahtes den Funken aus. Bei Gehörkrankheiten kann man auch stärkere Funken aus dem zitzenförmigen Fortsatze ausziehen. Fig. 36.

5. *Elektrische Schläge.* Den stärksten Grad der Elektrisirung gewähren endlich die el. Schläge oder Erschütterungen. Zur Anwendung derselben bedient man sich am besten einer Ladungsflasche mit dem Lane'schen Ausladeelektrometer[1], durch das man dieselbe von den schwächsten Graden an bis zu jedem stärkeren sicher reguliren kann. Um die Schläge durch einen beliebigen Theil des Körpers zu leiten, bringt man diesen Theil in den Entladungskreis, indem man denselben zwischen zwei Zuleiter bringt, wovon der eine in den Ring der isolirten Metallstange gehängt wird, welche mit ihrer Kugel der Kugel des Zuleitungsdrahtes zur innern Belegung der Flasche gegenübersteht, und der andere mit der äufsern Belegung verbunden ist. Als Beispiel diene die Art, wie z. B. eine el. Erschütterung auf diese Weise durch den vordern Theil des Armes hindurchgeleitet wird. GH ist die Ladungsflasche, B die Kugel des Fig. 37. Zuleitungsdrahtes zur innern Belegung C E D F das Lane'sche Ausladeelektrometer, dessen isolirte Metallstange mit ihrer Kugel in einer bestimmten Entfernung der Kugel B gegenüber ist, von welcher Entfernung die Stärke des Schlages abhängt, die beiden Zuleitungsdrähte der positiven E. (wenn nämlich die Flasche im Innern mit positiver E. geladen ist) und der negative I sind mit

1 S. *Elektrometer.*

den Metalldrähten der Directoren KL und K'L' verbunden, die vorzüglich geschickt sind, den Schlag durch jeden beliebigen Theil zu führen, indem sie auf die Enden desselben gesetzt werden. In dem gegebenen Falle geht der positive Strom den Arm abwärts. Bei entgegengesetzter Verbindung der Zuleiter würde er die umgekehrte Richtung nehmen. Bringt man die Kugel der Metallstange des Ausladeelektrometers bis auf 0,5 Linie oder selbst noch näher der Kugel der inneren Belegung gegenüber, so kann man bei einer Flasche von höchstens einem Quadratschuh Belegung auf der einen Seite mit sehr schwachen Schlägen den Anfang machen, und allmälig zu stärkeren durch Ausziehen der Stange bis zur Entfernung von einem Zolle und darüber steigen. Hat man kein Ausladeelektrometer, so kann man auch mit den bloſsen Directoren, wie leicht einzusehen ist, ausreichen, wobei die Stärke der Ladung, aber nicht mit derselben Sicherheit, nach der Zahl der Umdrehungen der Scheibe oder des Cylinders der Elektrisirmaschine bestimmt wird. Bei der Durchleitung des el. Schlages ist es oft sehr rathsam, an den zu elektrisirenden Theil eine mit einem Oehre zum Einhängen des Zuleiters versehene Bleiplatte anzubringen, damit der Schlag nicht zu heftig auf einen einzelnen Punct wirke. Eine eigenthümliche Modification der Entladung erhält man auch, wenn eine nasse Schnur einen Theil des Entladungskreises von der inneren Belegung aus bildet, wodurch der Schlag einigermaſsen mehr successiv gemacht wird. Zu solchen el. Erschütterungen in krankhaften Affectionen ist eine Flasche von höchstens einem Quadratfuſs Belegung auf der einen Seite vollkommen hinreichend, wozu man sich eines Zuckerglases, das höchstens 32 Unzen hält, und das innen und auſsen bis etwa zwei Zoll vom oberen Rande abwärts mit Stanniol belegt ist, bedienen kann.

Wenn man die Zuleiter auch nicht unmittelbar an den Theil, durch welchen man el. Schläge hindurchleiten will, anbringen kann, so muſs man solche Stellen auswählen, die demselben am nächsten und so gelegen sind, daſs wenigstens in dem Zwischenraume zwischen denselben der Theil sich befindet, auf welchen die E. einwirken soll. Besonders hat man hierbei auf die Lage und Richtung der Nerven, welche sich in den zu elektrisirenden Theil verbreiten, Rücksicht zu nehmen

III. Wirkungsart der E. im Allgemeinen auf den menschlichen Körper.

Die E. in ihrem Durchgange durch reizempfängliche Theile beweist sich im Allgemeinen als ein *mächtig eindringendes Reizmittel für die Nerven*, durch welche sie ihre Wirkung auf alle Theile ausdehnt, die ihr Leben hauptsächlich der Nerventhätigkeit verdanken; vorzüglich kräftig ist die Einwirkung dieses Reizmittels auf die Muskeln. Schon bloſse Funken, noch mehr el. Erschütterungsschläge bringen unwillkürliche Zuckungen in den unterhalb der Stellen, auf welche die E. unmittelbar einwirkt, gelegenen Muskeln hervor, die nicht immer durch die Empfindung vermittelt werden, denn selbst in gelähmten, der Empfindung beraubten, in ihrer thierischen Wärme herabgesunkenen und geschwundenen Gliedmaſsen erregt sie noch sehr bemerkbare Zuckungen, die nur in den seltensten Fällen[1] fehlen. Durch diesen Nervenreiz wirkt aber die E. nicht bloſs auf die eigentlichen Muskeln, sondern auch auf das Gefäſssystem, erhöht die Thätigkeit desselben, befördert dadurch den Zufluſs der Säfte und die Fortbewegung derselben, und beschleunigt in Folge dieser erhöhten Thätigkeit auch die animalisch chemischen Processe, womit Wärmeerhöhung gegeben ist. Es versteht sich von selbst, daſs die E. durch ihren kräftigen Einfluſs auch die Thätigkeit der eigentlichen Empfindungsnerven erhöht, und durch den Schmerz, den sie verursacht, noch einen accessorischen Reiz hinzufügt. Da die Erneuerung und Wiederherstellung der Lebenskraft wesentlich auf der Lebensthätigkeit der Theile selbst und insbesondere des Gefäſssystems beruht, so begreift man leicht, daſs die E. in gewissem Sinne auch als ein unmittelbar belebendes, die Reizbarkeit und Empfindlichkeit selbst wieder herstellendes, Mittel betrachtet werden kann. Dieselbe E. vermag aber auch durch zu heftigen Reiz und davon abhängige Ueberreizung die Reizempfänglichkeit eines Theiles entweder gänzlich oder auf einige Zeit aufzuheben, welche nach Umständen durch gelindere Grade der E. wieder hergestellt werden kann, wie man dann merkwürdige Fälle hat, daſs durch einen heftigen Blitzschlag in den Zu-

1 Kühn fand in 150 Fällen, die er von verschiedenen Beobachtern gesammelt hat, nur einen, in welchem sie ausgeblieben waren.

stand des Scheintodtes versetzte durch gelinde el. Schläge wieder ins Leben zurückgerufen worden sind[1]. Die genannten Wirkungen werden nur durch lebhafte Durchbewegung der E. mit einem grofsen Grade von Spannung durch die belebten Theile des menschlichen Körpers hervorgebracht, und eine blofse Anhäufung derselben mit relativer Ruhe, wie im el. Bade, kann nur in soweit als wirksam betrachtet werden, als durch das Ausströmen doch auch eine gewisse Bewegung desselben unterhalten wird.

Zwischen der Wirkung der positiven und negativen E. auf den menschlichen Körper als Heilmittel hat man bis jetzt keinen eigentlichen Unterschied wahrnehmen können. Wenn man die Analogie der galvanischen Erscheinungen zu Hülfe nimmt, so kann man annehmen, dafs die von dem Centralende nach dem peripherischen Ende der Muskelnerven abwärts strömende + E einen stärkern Reiz auf dieselben ausübt, als die in gleicher Richtung sich bewegende — E. Ob aber letztere bei dieser Art ihrer Einwirkung die Reizbarkeit der Muskeln auf eine directe Art zu erhöhen im Stande sey, wie dieses von dem in dieser Richtung sich bewegenden negativen Strome der *galvanischen* E. gilt, darüber fehlt es bis jetzt gänzlich an Erfahrungen.

Nach dieser allgemeinen Darstellung der Einwirkung der E. auf den menschlichen Organismus, läfst sich ihre Anwendung im Allgemeinen leicht bestimmen. In allen ächt entzündlichen Krankheiten und namentlich in allen Schmerzen, welche entzündlicher Art sind, in allen activen Congestionen und davon abhängigen anderweitigen krankhaften Zufällen kann die E. nur *schädlich* wirken. *Nützlich* ist sie dagegen in allen Krankheiten, welche von Torpor und Atonie der Gefäfse, und geschwächtem Nerveneinflusse abhängen, namentlich in allen Arten von Lähmungen sowohl der Sinnes- als der Bewegungsnerven, in manchen krampfhaften Krankheiten, entweder durch Aufreizung der Antagonisten der im Krampfzustande befindlichen Muskeln, oder durch Hebung einer kränklichen Reizbarkeit, in Krankheiten der Ab- und Aussonderungsorgane, welche von Unthätigkeit der Gefäfse oder von einem krampfhaften Zustande abhängen, davon abhängigen passiven Congestionen, Ge-

1 S. *Blitz.*

schwülsten, und sogenannten Verstopfungen, endlich in nervösen Schmerzen, welche sich zu den entzündlichen Schmerzen wie Kälte zu Hitze verhalten. Nur insofern, als die E. durch örtlichen Reiz das Leben eines äufseren Theils erhöht, Zuflufs der Säfte zu demselben, Röthe und Wärme hervorbringt, kann sie nach Art der sogenannten Ableitungsmittel auch in *entzündlichen* Krankheiten innerer Organe von Nutzen seyn.

IV. Allgemeine praktische Regeln bei Anwendung der E.

Cavallo hat diese Regeln sehr gut nach den vielen Erfahrungen englischer Aerzte festgesetzt. Sie sind folgende: 1. *Man mufs jedesmal mit den schwächeren Graden der E. den Anfang machen*, da es manche Kranke giebt, die für diesen Reiz auch in seiner gelindesten Einwirkung sehr empfindlich sind[1], und durch die gleich zu Anfange angewandten stärkeren Grade leicht überreizt werden könnten. Hat man die Behandlung einige Tage lang unwirksam gefunden, welches man daran erkennt, dafs keine merkliche Reaction, insbesondere keine Röthe der Theile, auf welche die E. unmittelbar eingewirkt hat, erfolgt ist, so kann man zu den stärkeren Graden übergehen, von denen man nachher wieder abwärts steigt, so wie sich im Laufe der Versuche eine erhöhte Reizempfänglichkeit für dieselben entwickelt.

2. Da die el. Ausströmungen und Funken sich vorzüglich wirksam bewiesen haben, von diesen aber und insbesondere von den ersteren in keinem Falle eine zu heftige Einwirkung zu befürchten ist, ihr Nutzen aber doch wesentlich darauf beruht, dafs sie mit einer gewissen Intensität wirken, so ist zur medicinischen E. *stets eine etwas stärkere Elektrisirmaschine nöthig*, eine solche nämlich, die aus ihrem ersten Leiter Funken von wenigstens drei Zollen giebt, denn el. Schläge, die man auch mit Hülfe kleiner Maschinen sehr weit treiben kann, können die Ausströmungen und Funken in *keinem Falle* ersetzen. Daher sind die kleinen englischen Patentscheibenmaschinen, deren Scheiben etwa 9″ im Durchmesser haben, und bei denen eine

1 Sentelin führt ein Beispiel von einer Person an, die schon in der durch die Bewegung einer Elektrisirmaschine elektrisirten Luft Leibweh und Durchlauf bekam.

Leidner Flasche statt des ersten Leiters dient, für den ganzen Umfang der medicinischen Anwendung der E. nicht geeignet, da sie eigentlich nur den Gebrauch el. Schläge zulassen, jedoch für einen Rettungsapparat sind sie allerdings zu empfehlen, da sie bei ihrer Kleinheit ungemein leicht transportirt werden können, und bei der Wiederbelebung von Scheintodten el. Erschütterungen die Hauptsache thun müssen.

3. Die *Zeit* und die *Dauer* der Anwendung betreffend ist die *Vormittagszeit* in der Regel die angemessenste, die Dauer aber nach der *Form der Anwendung* und nach dem *Zeitraume, während dessen man die E. bereits angewandt hat*, zu bestimmen. Die el. Ausströmung muſs man wenigstens 3, höchstens 10 Minuten einwirken lassen, Funken kann man 50 bis 100 nach der Reihe geben, und im Fortgange mit der Zahl steigen, doch mit der Vorsicht, daſs man bei fortgesetztem Gebrauche sie nicht immer auf dieselbe Stelle schlagen läſst, da sie sonst Geschwüre, die oft hartnäckig zu heilen sind, verursachen. Erschütterungsschläge darf man höchstens 15 nach der Reihe durch einen Theil gehen lassen. Die totale Dauer der Anwendung der el. Kur läſst sich schwer bestimmen, doch hat die Erfahrung gelehrt, daſs bisweilen erst nach mehreren Wochen die Besserung sich einzustellen angefangen hat.

4. Nach der allgemeinen Regel, daſs ein Reizmittel bei lange fortgesetzter Anwendung an Wirksamkeit verliert, und wenn der Gebrauch desselben eine Zeitlang ausgesetzt wird, die Reizempfänglichkeit für dasselbe wieder zunimmt, besonders wenn in der Zwischenzeit ein antagonistisches Reizmittel gebraucht worden ist, sollte man die *positive* Elektrisirung von Zeit zu Zeit mit der *negativen* abwechseln lassen, sowohl beim Gebrauche der el. Ausströmung, als auch bei demjenigen der el. Funken und Schläge, indem man die Anlegung der Zuleiter so ändert, daſs wenn einige Tage hindurch die positive E. die Nerven nach ihrem peripherischen Ende hin durchströmt hat, ihr alsdann einige Tage hindurch die entgegengesetzte Richtung gegeben wird, ehe man sie auf die erste Art anwendet.

5. Bei Schwangern müssen alle el. Erschütterungen überhaupt und selbst alle el. Strömungen durch die untere Gegend des Leibes sorgfältig vermieden werden, da sonst leicht zum Miſsgebähren Veranlassung gegeben werden könnte.

V. Einzelne Krankheiten, in welchen sich die E. vorzüglich wirksam bewiesen hat, und besondere Regeln für den Gebrauch derselben.

1. *Lähmungen der Muskeln.* Ueber den Nutzen der Elektrisirung in dieser Classe von Krankheiten findet man die ersten Beispiele in den Schriften über medicinische E., und zwar sowohl in Lähmungen nach Schlagflüssen als in gichtischen Lähmungen, in solchen, welche durch mechanische Gewalt, z. B. nach einem heftigen Falle entstanden, endlich selbst in solchen, welche auf Bleikolik folgten. Man fängt gleich mit der el. Ausströmung an, indem man den Kranken auf das Isolatorium bringt, das äufsere Ende des gelähmten Gliedes durch einen Zuleiter mit dem isolirten Reibzeuge in Verbindung setzt, und dem, dem Rumpfe am nächsten gelegenen Ende, besonders aber derjenigen Gegend, wo sich die grofsen Nervengeflechte, die das Glied versorgen, am nächsten befinden, den hölzernen Conus, der durch einen Zuleiter mit dem positiven Conductor verbunden ist, gegenüber hält. Man kann diese Einwirkung ¼ bis ½ Stunde fortsetzen, und nachdem man einige Tage damit fortgefahren, zu einfachen allmälig stärkeren Funken übergehen, welche längs dem Verlaufe der Hauptnerven des gelähmten Gliedes aus dem isolirten und mit dem positiven Conductor verbundenen Kranken ausgezogen, oder auch demselben im nicht isolirten Zustande durch den mit der Kugel versehenen Director beigebracht werden. Bei gichtischen oder rheumatischen Lähmungen nimmt man den Funken aus dem vorher mit Flanell umwundenen Gliede. Bei angeborener Schwäche der untern Gliedmafsen, die in ihrem Wachsthum zurückbleiben, werden die Funken aus der Gegend der untern Lendenwirbel gezogen. Auch die mit Zittern verbundene Schwäche der Glieder der Arbeiter, welche viel Quecksilber einathmen (Vergolder, Barometermacher) hat man mit Erfolg durch E. behandelt.

2. *Contracturen* besonders in Folge krampfhafter Krankheiten und nicht so eingewurzelte, dafs schon organische Entartungen eingetreten sind. Hier richtet man die Wirkung der E. vorzüglich auf die Antagonisten der in Zusammenziehung begriffenen Muskeln. Thiery erzählt einen merkwürdigen Fall von einer Zusammenziehung der Zunge in Folge eines Streif-

schusses am Kopfe durch eine Kanonenkugel, die durch Elektrisiren glücklich gehoben wurde [1]. In krampfhaften und gichtischen Anchylosen, wo also auch keine eigentliche Desorganisation oder Verwachsungen der Gelenke zum Grunde liegen, können die el. Ausströmungen, Funken und leichten Erschütterungen, die in verschiedenen Richtungen quer durch das Gelenk geführt werden, heilsam seyn.

3. *Lähmungen der Sinnesnerven.*

a. *Schwarzer Staar.* Hier fängt man mit der gelindesten Ausströmung aus Metallspitzen an, geht dann zur stärkeren Ausströmung aus dem Holzconus über, nimmt auch Funken aus dem untern und obern Augenbogen, um auf die Orbitalnerven zu wirken, dann aus den geschlossenen Augenliedern, und endlich aus dem geöffneten Auge selbst. Zuletzt kann man zu schwachen Erschütterungsschlägen übergehen, welche man quer durch den Vorderkopf vom Nacken aus nach der Supraorbitalgegend, und selbst durch das Auge vom Hinterkopfe nach vorne führt, so dafs der positive Strom die Richtung des optischen Nerven nach dem Auge hin hat. Fischer heilte durch das blofse el. Ausströmen durch eine hölzerne Spitze den schwarzen Staar bei einer 43jährigen Frau innerhalb 4 Wochen [1].

b. *Taubheit.* Man läfst die E. durch den oben beschriebenen Zuleiter in den Gehörgang erst als unmerklichen Strom, dann als Hauch, endlich als Funken einwirken. Sunthelin will in hartnäckiger Taubheit guten Erfolg wahrgenommen haben, wenn er einen abgerundeten Draht in den Mund so einbrachte, dafs sein abgerundetes Ende der Gegend, wo sich die Eustachische Röhre öffnet, gegenüber stand, diesen Draht mit dem äufsern Belege einer kleinen, schwach geladenen Leidner Flasche verband, und nun mit einem andern in den Gehörgang gebrachten Drahte den Erschütterungskreis am Knopfe der Flasche schlofs.

4. *Krämpfe* und *Convulsionen.* Vorzüglich hat man im St. Veits-Tanze die E. heilsam befunden, selbst in Form von gelinden Schlägen, die man durch das Rückenmark gehen liefs. Wilkinson will einen Trismus, der schon einen ganzen Monat gedauert hatte, durch E. geheilt haben. Sunthelin fand in

1 G. XLVII. 108.

2 Phys. Wörterb. VIII. Bd. S. 363.

Krampfkrankheiten durch die starken Grade der E. die Krampfanfälle vielmehr entstehen.

5. *Chronischer Rheumatismus.* Vortrefflich durch einen allgemeinen Hautreiz, wenn man den mit einer Kugel versehenen, mit dem positiven Conductor verbundenen Director über den mit Flanell bedeckten, mit dem chronischen Rheumatismus behafteten, Theil hin und her führt. Nach Umständen sind auch schwache Erschütterungen durch den leidenden Theil geführt, wohlthätig. Im rheumatischen Zahnweh habe ich Funken aus dem Backen gezogen von schneller Hülfe beobachtet. Zur Betäubung der Nerven im Zahnweh von cariösen Zähnen, und zur Linderung ja gänzlichen Unterdrückung des Schmerzes, ist ein el. Schlag, durch den Zahn geleitet, oft von augenblicklicher Wirkung, zu welchem Behuf man die Zuleiter zur einen Belegung an den leidenden Zahn, den zur andern Belegung in den Nacken bringt.

6. *Chronische Augenentzündung*, besonders mit vermehrter Schleimabsonderung, nur durch den el. Hauch bisweilen mit Erfolg behandelt.

7. *Kalte Geschwülste.* Gegen skrophulöse Drüsenanschwellungen, rheumatische Auftreibungen, weiſsen Kniegeschwulst, Milchversetzung, selbst Frostgeschwülste, hat man die E. in derselben Reihenfolge, wie in Nr. 1, mit Nutzen gebraucht. In den rothen Frostbeulen folgen gewöhnlich auf den Gebrauch der Funken weiſse Flecken. In allen solchen Geschwülsten muſs aber aller entzündliche Zustand vorüber seyn.

8. *Amenorrhoe.* Die kräftige Wirkung der E. auf die Gefäſse und Muskelfasern der Gebärmutter ist durch vielfache Erfahrungen auſser Zweifel gesetzt. Schon der unmerkliche Strom bringt den Monatsfluſs in Gang, wenn Schwäche und Atonie der Gebärmutter und ihrer Gefäſse seinem Ausbleiben zum Grunde liegt; noch wirksamer sind gelinde el. Schläge von dem Kreuzbeine in den Schoos oder nach den Schenkeln hingeführt, indem man auf das erstere den Zuleiter vom positiven an die letzteren denjenigen vom negativen Belege anbringt.

9. *Bandwurm.* Die Beschwerden und Schmerzen, welche vom Bandwurm herrühren, weichen augenblicklich, wenn man einige el. Erschütterungen quer durch den Unterleib führt. Dieser Eingeweidewurm scheint dadurch betäubt und gleichsam gelähmt zu werden, und kann in diesem Zustande durch ange-

messene, selbst gelindere, Purgirmittel, wie namentlich durch Ricinusöl, abgeführt werden.

10. *Scheintod.* Vorzüglich im Scheintode vom Ertrinken, auch von einem Blitzstrahle, hat man die E. in einzelnen Fällen von einem glücklichen Erfolge gekrönt gesehen. Hier sind gelinde el. Schläge durch die Gegend des Herzens und Zwergfells geleitet die passendste Form, denn sowohl die el. Ausströmung als die el. Funken möchten in den meisten Fällen zu schwach wirken. Doch mufs man mit den schwächsten el. Schlägen den Anfang machen, weil stärkere Schläge durch zu heftigen Reiz auch die letzte Spur von Reizempfänglichkeit vollends vertilgen könnten. Man setzt, um der el. Erschütterung die oben bemerkte Richtung zu geben, den positiven Zuleiter abwechselnd auf die eine oder andere Seite des Halses, und in den Nacken, und den negativen Zuleiter unter die linke Brustwarze, auch an die untere Seite des Brustbeins. Man mufs längere Zeit fortfahren, jedoch in dem Durchleiten aller Schläge von Zeit zu Zeit Pausen machen, auch die Anwendung anderer zweckmäfsiger Mittel, besonders des Lufteinblasens und der Wärme, damit verbinden. Ein schlimmes Zeichen ist es, wenn die el. Schläge, von denen man anfangs nichts empfand, wenn man die beiden Zuleitungsdrähte in seinen Händen hielt, allmälig fühlbar werden, weil man daran erkennt, dafs der Körper des Scheintodten die E. mehr und mehr unvollkommen leitet, was ein Beweis ist, dafs er, statt dem Leben sich mehr zu nähern, sich weiter davon entfernt[1]. *P.*

Elektricität, thierische S. Galvanismus.

Elektricitätssammler S. Colector.

Elektricitätsverdoppler S. Duplicator.

Elektricitätszeiger.

Index s. Gnomon electricitatis. Man hatte diesen Namen einigen Vorrichtungen beigelegt, deren sich die Beobachter der Gewitter-Elektricität bedienten, um das Daseyn derselben zu bemerken

1 Tib. Cavallo Versuch über die Theorie und Anwendung der medicinischen E. Aus dem Engl. übersetzt. Zweite vermehrte Auflage. Leipzig 1799. Jos. Franc. Domin Ars electricitatem aegris tuto adhibendi Pestini 1796. Karl Sunteln Anleitung zur medicinischen Anwendung der E. und des Galvanismus 8. Berlin 1822.

und ihre Stärke zu messen. Jetzt werden zu dergleich n Beobachtungen selten andere, als die gewöhnlichen atmosphärischen Elektrometer gebraucht [1]. Man könnte inzwischen den grössern und immer bleibenden Veranstaltungen hierzu den Namen *Elektricitätszeiger* lassen und die kleineren portativen Werkzeuge *Luftelektrometer* nennen. Man hat ihnen auch den Namen *Blitzmesser* beigelegt, der dem Unerfahrnen sehr sonderbar vorkommen muſs; auch den halb lateinischen und halb griechischen Namen *Fulgurometer*, wofür man schicklicher *Brontometer* sagen würde. Diese Namen scheinen mir aber unschicklich. Man miſst doch nicht den Blitz oder den Funken, sondern nur die Stärke der E.

Franklin [2] setzte, nachdem er die Gleichheit des Blitzes und der E. entdeckt hatte, zuerst eine isolirte eiserne Stange auf sein Haus, und befestigte an derselben zwei Glöckchen so, daſs sie ihm durch ihr Läuten die Elektrisirung der Stange andeuteten [3]. Am 12. April 1753 fand er dadurch zum ersten Male bei einem Gewitter die E. der Wolken negativ. Man kann auch die Veranstaltungen, durch welche Dalibard und Delor die Gleichheit des Blitzes mit der E. bestätigten [4], unter die Elektricitätszeiger rechnen. Diesen Beobachtern, so wie dem Abbé Mazeas, sammelte die einfache Stange noch nicht genug E., sie verbanden sie daher mit mehreren isolirten Metallstangen, und nannten die ganze Vorrichtung ein *Elektricitäts-Magazin* (magazin d'électricité). Canton bediente sich einer isolirten Stange, brachte aber am Ende derselben, wo sie auf der isolirenden Glassäule ruhte, einen zinnernen Deckel an, um den Regen vom Glase abzuhalten.

Richmann erfand sich eine eigene Veranstaltung [5] und legte ihr den Namen *Index* s. *Gnomon electricitatis* bei. Sein Schicksal und seine Verdienste sind es wohl werth, daſs man diesen Namen zu seinem Andenken in der Wissenschaft beibehalte. Er hatte am Dache seines Hauses einen Ziegel ausge-

---

1 Vergl. *Luftelektrometer*.

2 Briefe über die E. nach Wilke's Uebers. S. 146. f.

3 S. *Glockenspiel, elektrisches*.

4 S. *Blitz*.

5 De indice electricitatis, in Nov. Comm. Petrep. To. IV. ad ann. 1752 et 1753. p. 310. ingl. Winkler de avertendi fulminis artificio. Lips. 1753. 4.

hoben und auf die nebenliegenden Ziegel eine gläserne Flasche gesetzt, durche welche eine eingekittete eiserne Stange hindurch ging. Ihr oberes Ende ragte 4—5 Schuh über das Dach hervor. Am untern Ende hing eine Kette, welche, ohne Leiter zu berühren in ein Zimmer geführt war, in welchem sie noch 16 Schritt weit an der Decke bis an die Fenster fortlief, wo von ihr ein Metalldraht herab hing. Dieser war mit einer kleinen Metallstange verbunden, welche in einem mit Kupferfeile gefüllten Glase auf einem 4 F. hohen Schranke stand. An der Metallstange hing vom obern Ende herab ein leinener Faden, der, wenn sich E. zeigte, von der Stange abgestofsen ward. Ein nebenstehender getheilter Quadrant gab den Winkel des abgestofsenen Fadens mit der Stange an. Die Gewitterelektricität hob diesen Faden nie über 30°, die künstliche aber über 55°. Am 9. August 1752 war die E. so stark, dafs der obere Theil der Metallstange freiwillig mit Geräusch ausströmte, und die Berührung derselben Hand und Arm erschütterte. Bisweilen setzte Richmann eine isolirte leidner Flasche daneben, deren innere Seite mit dem herabhängenden Drahte verbunden ward, und fand dadurch die E. noch mehr verstärkt. Am 6. Aug. 1753 tödtete ihn bei dieser Veranstaltung der unglückliche Schlag, dessen Wirkungen bei dem Worte: *Blitz*, angeführt worden sind.

Um nun den Beobachter für ähnliche Gefahren zu sichern, gab Winkler [1] eine andere Vorrichtung an, bei der man Funken, welche die Gewitterelektricität zwischen zwei Körpern schlägt, aus der Ferne beobachten kann. Sie gehört ebenfalls zu den *Elektricitätszeigern*, giebt aber die Funken alsdann erst, wenn die E. stark genug wird, um in der Schlagweite, auf welche die Körper gestellt sind, zu wirken, und dient also nicht zu Abmessung schwächerer oder stärkerer Grade.

Priestley [2] schlägt zur Beobachtung der Luftelektricität folgende Einrichtung vor, Man errichte auf dem Gipfel eines Gebäudes eine Stange, welche oben ein dickes Stück Glas, etwa einen Schuh lang, hat, das mit einem zinnernen Trichter bedeckt wird, um den Regen davon abzuhalten. Ueber demselben lasse man eine hohe zugespitzte eiserne Ruthe her-

1 De fulminis avert. artificio. Lips. 1753. 4.

2 Gesch. der E. durch Krünitz S. 344.

vorragen, von dem Trichter aber einen Draht an dem Gebäude herabgehen, der von der Stange und den Theilen des Gebäudes etwa einen Schuh weit entfernt bleibt. Diesen führe man, ohne daſs er Leiter berührt, durch ein Fenster ins Zimmer und verbinde ihn mit einem isolirten Conductor, an welchem man die E. durch die gewöhnlichen Erscheinungen wahrnehmen, auch ihre Stärke und Beschaffenheit mit Elektrometern untersuchen kann. Zur nöthigen Sicherheit räth Preistley an, neben dem Drahte einen gewöhnlichen Blitzableiter herabgehen zu lassen.

Le Roy [1] beschreibt unter dem Namen des *Fulgurometers* folgende Veranstaltung. Er errichtet eine hohe hölzerne Stange an einem so viel möglich, von Häusern, Bäumen etc. entfernten Orte, kittet darauf eine gläserne Flasche und auf diese einen blechernen Trichter in Gestalt eines 4 F. langen Sprachrohrs, dessen unterer Rand auf allen Seiten einen Schuh weit über die Flasche hinaus geht. Auf das obere enge Ende des Trichters wird eine 4—5 F. lange zugespitzte eiserne Stange aufgekittet, und von der Spitze aus ein Draht weit durch die Luft bis ins Zimmer des Beobachters geleitet, in dessen Fenster die Oeffnung weit seyn muſs; doch müssen die Fenster zugehalten werden, um keine Feuchtigkeit ins Zimmer zu lassen. Zur nöthigen Beschützung geht von dem Trichter noch eine Ableitungskette gerade herunter, bis auf einen F. weit von der Erde; unter diese Kette wird eine Metallstange tief in die Erde eingelassen, und hat oben eine leichte blechene Platte mit einem Charniere. Wenn die E. zu stark wird, soll nämlich das Ende der Kette (an das man hierzu wohl eine Kugel, oder noch eine Platte anbringen möchte) die Platte anziehen und sich dadurch in die Erde ausladen. Im Zimmer steht ein hölzernes Kästchen, dessen eine Wand eine Glasscheibe ist, wodurch der Draht geführt wird. Sie ist inwendig mit schwarzem Taffent überzogen, damit das Innere des Kästchens dunkel bleibe. An einer Seitenwand ist ein Glasfensterchen, um hineinzusehen. Im Kätschen liegen auf zwei Glasfüſsen zwei kleine zugespitzte Metallstangen mit metallenen Scheiben so, daſs sich immer die Spitze der einen Stange gegen die Scheibe der andern kehrt. Man muſs sie näher oder weiter von einander stellen können.

1 Rozier. Observ. et mém. sur la physique To. III. Janv. 1774.

An die eine Stange wird der Draht des Blitzmessers, an die andere ein anderer Draht angebracht, der in den Boden des Zimmers herabgeht. Wenn nun die E. der Atmosphäre positiv ist, so wird die mit ihr verbundene Spitze gegen die mit der Erde verbundene Scheibe einen Feuerbüschel, und die andere einen leuchtenden Punct zeigen; ist sie negativ, so werden die Erscheinungen die umgekehrten seyn. Ich zweifle, daſs diese sehr zusammengesetzte Einrichtung Beifall finden werde, zumal da die Phänomena des el. Lichtes nie ein bestimmtes Maſs gewähren. Man kann aber das ganze Kästchen weglassen und die E. mit dem Elektrometer untersuchen.

Eine andere hierher gehörige ziemlich weitläuftige Veranstaltung finde ich von Donndorf [1] beschrieben. Es wird ein Haus von Brettern leicht erbaut; mitten durch dessen Dach geht eine 20 F. hohe Stange, oben mit Spitzen versehen, unten auf Pech isolirt. Am Dache halten sie viele seidne Schnüre, damit sie nicht schwanke. Einige Fuſs über dem Dache sitzt an ihr eine groſse kupferne Haube, die den Regen auffängt, und durch eine Rinne in ein isolirtes Gefäſs führt. Inwendig ist die Stange mit der innern Seite einiger Verstärkungsflaschen, und mit einer Metallplatte verbunden, die an seidenen Schnüren aufgezogen und niedergelassen wird. Die äuſsern Seiten der Flaschen sind mit einem unter dieser Metallplatte stehenden Stative verbunden. So laden sich die Flaschen durch die Gewitterwolke, und entladen sich, wenn man die Metallplatte nahe genug ans Stativ herabläſst. Die Beobachter können an einem entfernten sichern Orte stehen, an welchen die seidnen Schnüre zum Aufziehen der Metallplatte hingeführt werden. Aus der Schlagweite zwischen dieser Platte und dem Stative kann man auf die Stärke der E. schlieſsen.

Der Abt Hemmer [2] hatte in dem churfürstlichen physikalischen Cabinette zu Manheim einen Elektricitätszeiger ange-
Fig. 38. legt, dessen Wirkungen nach seiner Versicherung vortrefflich waren und dem er den sonderbaren Namen eines *Blitzfängers* oder *Wolkenelektricitätsmessers* beilegte. A ist eine 30 Schuh

---

1 Lehre von der E. II. Bd. S. 491; Erfurt 1784. 8.

2 Ephemerides Societ. meteorol. Palat. To. I. p. 85—87 ingl. Anleitung, Wetterleiter an allen Gattungen von Gebäuden auf die sicherste Art anzulegen. Offenbach am Mayn 1786. 8. S. 26.

lange, in eine kupferne Spitze auslaufende eiserne Stange, die auf einer starken mit einem metallenen Hute zur Abhaltung des Regens gedeckten Glassäule stand. BCDE ist eine mit dieser Stange verbundene 0,5 Zoll dicke metallene Ruthe, die auswendig am Schlofse herunter, und durch einen Fensterrahmen bis ins Cabinet ging, wo sie an die eiserne Querstange V M befestigt war. Diese Querstange war an beiden Enden mit Kugeln versehen. An dem einen Ende hingen zwei Fäden mit Hollundermarkkügelchen R, in der Mitte ein el. Glockenspiel F. Am andern Ende der Stange, V M gegenüber, ein metallener Leiter S mit der Erde verbunden. Die ganze übrige Geräthschaft war isolirt; nur die erforderlichen Theile des Glokkenspiels konnten, wenn man es haben wollte, mit der Erde verbunden werden.

Diese Geräthschaft zeigte folgende Erscheinungen: 1. Zog eine Wetterwolke, sie mochte blitzen oder nicht, so vorüber, dafs ihr Wirkungskreis die Spitze A berührte, welches oft in grofser Entfernung geschah, so gingen die Fäden R aus einander, und war die E. der Wolke etwas stark, so zeigten sich Funken zwischen den Kugeln V, S, und das Glockenspiel läutete. 2. Bisweilen, wiewohl selten, zog ein Gewitter, auch mit Blitz und Donner, über die Geräthschaft hinweg, ohne dafs diese ein Merkmal der E. zeigte. In diesem Falle mufste die Wolke so hoch gehen, dafs die Spitze A ihren Wirkungskreis nicht erreichte. 3. Die E. der Geräthschaft war bald positiv, bald negativ. 4. Diese Verschiedenheit und Abwechselung der E. hatte nicht nur bei verschiedenen Gewittern, sondern oft auch bei einem und demselben Gewitter, ja sogar auch dann statt, wenn man von diesem nicht mehr als eine einzige zusammenhängende Wolke entdeckte. Hemmer fand einst die Art der E. in einer Viertelstunde achtmal verändert. 5. So oft die E. wechselte, fielen die Kügelchen R zusammen, gingen aber oft augenblicklich, oft etwas langsamer, zu ihrer vorigen Stellung zurück. So lange sie beisammen blieben, zeigte die Geräthschaft nicht die mindeste E. Oft war der Uebergang von einer E. zur andern so schnell, dafs die Kügelchen kaum ganz zusammen fielen, sondern schon vor der Berührung einander wieder zu fliehen schienen. Wenn sie aber zusammenfielen, so folgte auch nicht immer eine andere E., sondern oft kam dieselbe wieder zurück. 6. Bisweilen hielt die E. dersel-

ben Art nur einige Minuten, bisweilen auf eine halbe Stunde und drüber an. 7. So oft es bei einem nahen Gewitter blitzte, veränderte sich in dem Augenblicke der Abstand der Kügelchen. Bisweilen zeigte sich auch in eben dem Augenblicke ein Funken zwischen den Kugeln V, S, obschon kurz vorher nur eine schwache oder gar keine E. in der Geräthschaft gewesen war. 8. Fiel ein Gewitterregen auf den Apparat, so empfing derselbe augenblicklich eine starke E., wenn er vorher keine hatte, oder seine vorige ward merklich verstärkt. Während desselben Regens wechselte die E. der Geräthschaft ebenfalls oft ab. 9. Wenn die Funken zwischen den Kugeln V, S, mit grofser Gewalt und Geschwindigkeit schlugen, so dafs sie dazwischen gehaltene Körper beschädigten, und man dann diese Kugeln bis zur Berührung zusammenbrachte, so war in dem Augenblicke keine Spur von E. mehr in der Geräthschaft zu finden. Schob man die Kugeln wieder von einander, so fingen die vorigen Funken sogleich wieder an.

Hemmer zieht aus diesen Erscheinungen einige Folgerungen, die wir hier noch mittheilen wollen [1]. Die Spitze A, sagt er, könne die E. nicht unmittelbar aus den Wolken, sondern nur aus ihren Wirkungskreisen ziehen. Sie erreiche ja die Wolke selbst nicht, die oft in einer übermäfsigen Entfernung über ihr vorbeiziehe. Es gäbe aber in dem Wirkungskreise einer Wolke immer abwechselnde positive und negative, gleichsam concentrisch die Wolke umringende, Luftschichten, und so zeige der Apparat positive oder negative E.; je nachdem die Spitze in eine Schicht von dieser oder jener Art eingesenkt sey. Es sey daher auch nicht nöthig, negative Wolken anzunehmen, indem sich die negative E. der Geräthschaft hinlänglich aus den negativen Wirkungskreisen erklären lasse. Ohne diese abwechselnden Schichten der Wirkungskreise wäre es auch nicht möglich, von den vielfältigen Abwechslungen der E. in der Geräthschaft einen hinlänglichen Grund anzugeben, oder das Zusammenfallen der Kügelchen zu erklären, welches sich zeigt, wenn die Spitze an die Grenze zwischen zwei Schichten kommt, deren eine positiv, die andere negativ ist. Die oft so lange anhaltende E. der Geräthschaft komme aus den entferntern Schichten des Wirkungskreises der Wolke; also

1 Vergl. *Luftelektricität.*

werde der Letzteren selbst dadurch nichts von ihrer E. entzogen. Der Blitz aber verursache eine Entladung der Wolke selbst welche auf alle Schichten des Wirkungskreises zugleich, mithin auch auf die Geräthschaft wirke. Die Analogie eines Nichtleiters, wie z. B. einer Glasstange, noch mehr einer Siegellackstange, welche in dem Wirkungskreise eines elektrisirten Körpers abwechselnde Zonen von entgegengesetzter E. bis auf eine gewisse Strecke annimmt, scheint für diese Erklärung zu sprechen, doch giebt es unstreitig auch noch andere Umstände, welche eine negative E. in den Wolken selbst, und eine Verwandlung derselben in positive veranlassen können. Bequemer als durch diese kostspieligen und selbst nicht immer gefahrlosen Vorrichtungen erreicht man indessen seinen Zweck, die E. der Luft und der Wolken auszumitteln durch den el. *Drachen* und die portativen *Luftelektrometer*, von welchen in besondern Artikeln gehandelt wird. *P.*

Elektrisirmaschine.

Elektrische Maschine; *Machina electrica*; Machine électrique; *Electric Machine.*

Ein Apparat um die ursprüngliche E. eines für sich el. Körpers durch Reiben stark und anhaltend zu erregen, und andern Körpern mitzutheilen.

Die große Masse von Thatsachen, welche sich auf diesen Gegenstand beziehen, wird sich am leichtesten zur Uebersicht ordnen lassen, wenn wir, nach vorangeschickter kurzer historischer Notiz von den unvollkommenern früheren Einrichtungen, unter den zwei Hauptrubriken der *Cylinder*- und *Scheiben-Maschinen* ausführlicher von den Bemühungen der neueren Physiker zur möglichst vollkommeuen Einrichtung dieses eben so sehr zur Belehrung als Ergötzung dienenden Werkzeugs handeln, und in der Beschreibung einiger Mustermaschinen von jeder der beiden Hauptlcassen die Grundsätze entwickeln, auf welchen die Vorzüge ihrer Einrichtung beruhen. In einer besondern Rubrik wird dann noch von andern Arten von Elektrisirmaschinen Rechenschaft gegeben, und am Ende noch von dem Gebrauche und den Hauptversuchen, welche man mit diesem Apparate anstellen kann, gehandelt werden, wobei durch Angabe dessen, was verschiedene Elektrisirmaschinen wirklich

geleistet haben, die Vorzüge der einen Einrichtung vor der andern sich noch weiter ergeben werden.

Man kann den Ursprung der Elektrisirmaschinen, wenn man weit zurückgehen will, von OTTO VON GUERICKE herleiten, der eine Schwefelkugel auf einem hölzernen Gestelle mit einer Kurbel umdrehte, und mit der andern Hand rieb[1]. HAWKSBEE[2] verfuhr eben so mit einer Glaskugel, nur brachte er statt der Kurbel ein Rad an, das er durch eine Schnur ohne Ende mit einem an der Axe der Kugel befindlichen Würtel verband, und mit einer Kurbel umdrehte. Dem ungeachtet bedienten sich GRAY und DU FAY noch blofs der Glasröhren, welche entweder mit der blofsen Hand, oder durch ein an dieselbe gehaltenes Reibzeug el. wurden, wodurch wegen Ermüdung der Hand, und der Unmöglichkeit einen ersten Leiter anzubringen, nie starke Grade von E. erhalten wurden. Das Verdienst, die Elektrisirmaschinen in die Experimentalgeräthschaften eingeführt zu haben, gehört den *deutschen Gelehrten*, und unter diesen vornehmlich HAUSEN[3]. Dieser wurde auf das Umdrehen der Glaskugel mit Hülfe eines Rades nicht durch HAWKSBEE's Beispiel, sondern, nach einer Note in der ersten Ausgabe dieses Wörterbuches, durch den Gedanken eines seiner Zuhörer geleitet. Dieser war LITZENDORF, Führer des Grafen JULIUS GEBHARD von HOYM, mit dem er bei HAUSEN die damals noch sehr neuen el. Versuche sah. Die beständige Unterbrechung des Reibens der Röhren mit der Hand brachte ihn auf den erwähnten Gedanken, den sein Lehrer mit Vergnügen annahm und ausführte. Durch BOSE's und WINKLER's merkwürdige Versuche wurden diase Maschinen allgemeiner bekannt und mit Beifall aufgenommen. Der Pater GORDON in Erfurt liefs zwar das Rad weg, und drehte einen Glascylinder am Würtel durch eine Schnur, die über einen Bogen gespannt war, nach welcher Methode auch WINKLER[4] eine Maschine verfertigen liefs, bei welcher der Würtel an der Axe des Cylinders, wie bei den Drechselbänken vermittelst einer Schnur an einer

1 S. Exper. nova de vacuo spatio. Amsterd. 1672. fol. pag. 240.

2 Physico-mechanical experiments. London 1709. 4.

3 Hausen novi profectus in historia electricitatis. Lips. 1743. 4

4 Gedanken von den Eigenschaften, Wirkungen und Ursachen der E. Leipzig 1744. 8. S. 12.

Wippe durch Treten mit dem Fuſse bewegt wurde. Ein gewöhnliches Bierglas war der geriebene Körper. Winkler kam aber bald zu der Hausen'schen Einrichtung zurück, die er[1] so beschreibt, wie er sie selbst zu gröſseren Versuchen gebraucht hat, daſs nämlich mit einem einzigen Rade vier Kugeln zugleich gedreht, und durch das Anhalten der Hände zweier Personen gerieben wurden. Fig. 39.

Diese Winkler'schen Maschinen sind darum vorzüglich merkwürdig, weil bei denselben zum erstenmal Kissen als *Reibzeug* angebracht worden sind. Man hat also die nützliche Erfindung der Kissen dem Leipziger Drechsler Giessing zu danken, der nach Winkler's eigener Versicherung[2] seine erste Maschine angegeben hat. Das Kissen machte eine Person, welche sonst die Hand anlegen muſste, entbehrlich, allein noch war es unvollkommen. Es war unter dem Glas-Cylinder angebracht, und lieſs sich zwar durch eine Stellschraube höher oder niedriger stellen, gab aber doch den Ungleichheiten der Rundung des Cylinders zu wenig nach, und erwärmte das Glas zu sehr, daher auch Winkler selbst wieder davon abging. Zuletzt kam er jedoch aus Mangel an Personen, deren Hände zur Erregung der E. geschickt waren, wieder auf den Gebrauch der Kissen zurück, und versah dieselben mit Federn, welche sie gelinde an die Kugeln oder Cylinder, die Winkler ohne Unterschied gebrauchte, andrückten.

Sigaud de la Fond[3] versichert, daſs er im Jahr 1754 ebenfalls auf den Gedanken gekommen sey, die Kissen seiner Maschine mit Federn zu versehen. Der Abt Nollet[4] gab seiner Maschine die nämliche Einrichtung, welche bereits die deutschen Gelehrten erfunden hatten, indem er seine Glaskugel durch ein groſses Schwungrad, das durch ein Seil ohne Ende mit dem Würtel an der Glaskugel verbunden war, in eine sehr schnelle Bewegung versetzte. Er erklärte sich aber wider den Gebrauch der Kissen, und lieſs stets eine Person die Hand an die Kugel legen. Seine eigene Hand war dazu sehr geschickt,

---

1 Eigenschaften der el. Materie Leipz. 1745. 8.

2 a. a. O. S. 13.

3 Précis historique et experimental des phénomènes électriques. Paris. 1781. 8.

4 Essai sur l'électricité des corps. Paris 1746. p. 48. ff.

und brachte stets eine starke E. hervor. Den ersten Leiter hing er mit seidenen Schnüren an die Decke auf, und verband ihn mit der Kugel durch eine Kette. Dr. WILLIAM WATSON[1] legte ebenfalls die Einrichtung der deutschen Gelehrten, mit denen er in Briefwechsel stand, zum Grunde, liefs aber durch sein Rad vier über einander stehende Glaskugeln auf einmal drehen, die sich an vier Kissen rieben. PRIESTLEY[2] hat diese Maschine abgebildet. Zu ihrer Erfindung gab die Begierde *Bose's Beatification*[3] nachzumachen, Anlafs, von welcher man sich in England allzugrofse Vorstellungen machte, und daher bemüht war, sehr starke Elektricitäten hervorzubringen. WILSON gab bald nachher eine Maschine an, welche weniger Raum erfordert. Ein Glascylinder wird durch ein daneben stehendes Rad gedreht, und reibt sich an einem unten angebrachten Kissen. Der erste Leiter ruht auf seidenen Schnüren, die an vier hölzernen Säulen auf das Gestell der Maschine selbst gebunden sind. An dieser Maschine[4] findet man zum erstenmale den *Leiter* mit dem Cylinder durch einen *Zuleiter* oder *Collector*, d. i. durch einen Kamm mit metallenen Spitzen, verbunden. WINKLER hatte sich, um die E. von den geriebenen Körpern nach dem Leiter zu bringen, silberner Fäden bedient, die am Ende des Conductors hingen, und den geriebenen Körper unmittelbar berührten[5].

Um Kugeln von grofsen Durchmessern in ziemlich kleinen Gestellen sehr schnell bewegen zu können, versahen sie die englischen Künstler mit Zahn und Getriebe, welches sie in ein messingenes Gehäuse einschlossen. Ein mit der Kurbel umgedrehetes Stirnrad greift in ein Getriebe, das an der Axe der Kugel fest ist. MUSSCHENBROEK lobt diese Maschinen sehr, sie verursachen aber, wenn sie nicht sehr fein und genau ausgearbeitet sind, ein unangenehmes Gerassel. Man kann dabei die Axe der Kugel oder des Cylinders vertical stellen, oder horizontal legen. BRIGNOLI[6] kam gar auf den Gedanken, die Axe mit der Weltaxe parallel zu legen; allein die Lage der

1 Exper. and observ. on electricity Lond. 1745.
2 Geschichte der E. Taf. V. Fig. 1.
3 S. *Spitzen*.
4 Priestley's Geschichte der E. Taf. VI. Fig. 1.
5 Die Eigenschaften der el. Materie u. s. w. S. 37.
6 Hamb. Magazin Bd. III. S. 565.

Axe thut an und für sich nichts zur Sache. Eine solche mit Zahn und Getriebe versehene Maschine mit verticaler Axe von NAIRNE beschreibt PRIESTLEY[1]. Der Leiter ruht auf seidenen Schnüren, die an vier aus dem Gestelle hervorragenden Armen befestigt sind. Das Kissen wird an die Kugel durch eine federnde Stange angedrückt, an der es fest ist, und die auf dem Gehäuse des Räderwerks aufsteht. Diese Maschine ist tragbar und läſst sich auf einen Tisch aufschrauben. Eine andere, gleichfalls von englischen Künstlern ausgeführte Cylinder-Maschine zeichnete sich durch ihren Sammler aus, der aus einem Drahte von vergoldetem Kupferblech, vorne breit geschlagen, besteht, und vermöge seiner E. sich unmittelbar an den Cylinder anlegt. READ gab seinem Cylinder eine senkrechte Stellung. Die Axe hatte unten einen Würtel, und wurde durch eine hölzerne, dem Tische parallel liegende Scheibe, vermittelst einer Schnur ohne Ende gedreht. Dieses Umdrehen der horizontalen Scheibe erfordert aber eine unbequeme Bewegung der Hand[2]. Ich übergehe noch einige andere Maschinen, namentlich zwei von PRIESTLEY selbst angegebene Glaskugel-Maschinen, da sie nichts ausgezeichnetes haben, und will die sonstigen wesentlichen Verbesserungen, die ein historisches Interesse haben, bei den beiden Arten von Elektrisirmaschinen, die mit Recht jetzt allein noch in Gebrauch sind, nämlich den Cylinder-Maschinen und Scheiben-Maschinen an dem dazu schicklichen Orte bemerken.

I. Elektrisirmaschine von Glas.

A. Cylinder-Maschine.

Die drei wesentlichen Stücke einer jeden Elektrisirmaschine sind 1. der *idioelektrische Körper*, durch dessen Reibung die ursprüngliche E. erregt werden soll. 2. *das Reibzeug* mit seinem Conductor, 3. der *erste Leiter*, der durch Wechselwirkung mit dem geriebenen Körper in einen demselben gleichartigen el. Zustand versetzt werden soll 4. der mit dem ersten Leiter verbundene mehr ausgedehnte *zweite Leiter*, durch dessen Beihülfe die E. noch beträchtlich verstärkt werden kann.

1 Gesch. der E. Taf. V. Fig. 1.

2 Die Abbildung derselben findet sich gleichfalls in Priestley's Geschichte der E. Tab. VIII.

Bei der Cylinder-Maschine besteht der idioelektrische Körper aus einem Glascylinder. Diese Art von Maschinen ist vorzüglich in England im Gebrauch, und um ihre möglichst vollkommene Einrichtung haben sich besonders NAIRNE, ADAMS und NICHOLSON Verdienste erworben. Die Cylinder haben mit Recht die Kugeln verdrängt, da sich an letztere das Reibzeug nie so gut anlegt, auch eine verhältnifsmäfsig viel gröfsere Fläche bei den Cylindern als bei den Kugeln zugleich gerieben werden kann. Die Cylinder, welche zu den Maschinen gewöhnlich gebraucht werden, wechseln von der Gröfse von 4″ Durchmesser und 8″ Länge bis 12″ Durchmesser und zwei Fufs Länge, doch hat man auch in London Maschinen von 24″ Durchmesser des Cylinders verfertigt. Die besten englischen Cylinder sind von Flintglas, das im Ganzen sehr el. ist. Cylinder von weifsem, recht durchsichtigem, hellem, reinem Glase sind nach mehrfachen Erfahrungen[1] allen andern vorzuziehen. Weifses Glas, welches milchicht aussieht, leistet schlechte Dienste. Cylinder von blauem Glase sind nur dann wirksam, wenn die Grundmasse, aus welcher sie bestehen, von weifsem Glase ist, durch Zusatz von etwas Kobaltoxyd blau gefärbt. Dafs das blaue Glas an und für sich keine Vorzüge habe, erfuhr ich selbst zu meinem Schaden an einem sehr grofsen blauen Glascylinder aus einer westphälischen Glashütte, der wenig leistete. Dasselbe gilt vom grünen Glase. Hartes Glas, in welchem der Gehalt an Kieselerde überwiegend, und weniger Laugensalz ist, hat in jedem Falle Vorzüge vor weicherem Glase. Ueberhaupt müssen die Glascylinder recht glatt gearbeitet, ohne Sandkörner und Blasen seyn. An Blasen, wenn sie oberflächlich liegen, und also nur mit einer dünnen Glasdecke versehen sind, reibt sich das Glas nach und nach ab, und es entsteht eine Vertiefung in welcher sich das Amalgama anhängt, welches die Entladung des Conductors nach dem Reibzeuge begünstigt, auch wird der Taffent allmälig zerrissen. Hat man sich einen Cylinder erst zu wählen, so kann man ihn auch auf sein el. Vermögen durch Reiben mit einem mit Amalgama eingeriebenen Stücke Taffent vorher prüfen, wo er schon aus der Ferne leichte Körperchen anziehen mufs.

1 Vergl. auch: Praktische und gründliche Anleitung, auf eine leichte und wohlfeile Art gute Elektrisirmaschinen zu bauen, von HOFFMANN. Leipz. 1795. 8.

Manche Cylinder (und auch Glaskugeln) welche keine gute Wirkung leisten, werden durch einen inneren *Ueberzug* von harziger Materie wesentlich verbessert, ohne Zweifel, weil dadurch die Feuchtigkeit abgehalten wird, womit sie sonst leicht im Innern beschlagen, welche Feuchtigkeit nach Art der Belegung einer Flasche, die durch Reiben auf der äufseren Oberfläche erregte E. bindet. Eine gute Composition zu einem solchen Ueberzuge besteht aus 4 Theilen venetianischem Terpentin, einem Theile Wachs, und einem Theile Pech, welches Gemisch eine Zeitlang über einem gelinden Feuer unter häufigem Umrühren erwärmt wird, um alle Feuchtigkeit daraus zu verjagen. Von der erkalteten und erhärteten Masse wirft man eine genugsame Menge in kleinen Stücken in den Cylinder, hält diesen darauf ans Feuer, läfst die Mischung schmelzen, und sich gleichförmig über die innere Fläche des Glases etwa in der Dicke einer Viertellinie verbreiten. Die nöthige Vorsicht bei der Erwärmung des Glases, besonders durch beständiges Umdrehen desselben, versteht sich von selbst. Statt dieser Masse kann man sich auch mit grofsem Nutzen des Bernsteinfirnisses bedienen, den man, wenn man dem Cylinder eine rothe Farbe geben will, mit etwas Zinnober durch das sorgfältigste Zusammenreiben zu einer ganz gleichförmigen, nicht mehr griesigen, Masse vermischt, mit etwas Kienöl verdünnt in den Cylinder hineingiefst, und durch fleifsiges Umdrehen desselben über die ganze Fläche sich verbreiten läfst, wobei das Umdrehen über einem gelinden Kohlenfeuer geschehen mufs, welches man so lange fortsetzt, bis die Masse nicht mehr läuft, sondern sich anlegt. Bei Cylindern, die schon an sich sehr wirksam sind, ist dieser innere Harzüberzug entbehrlich. Auch das blofse längere Aussetzen an die Luft und Sonne macht bisweilen Glascylinder, die anfangs sehr unwirksam waren, stärker el. Da wo das Glas gerieben wird, mufs es verhältnifsmäfsig am dünnsten seyn, weil dann die E. vollkommener entwickelt zu werden scheint, doch mufs es bei gleichförmiger Dünnheit, nach dem Halse zu an Dicke allmälig zunehmen, und daselbst sehr stark seyn. Es hat sich öfters zugetragen, dafs grofse Cylinder und auch Kugeln während des Drehens mit grofser Gewalt, und mit augenscheinlicher Gefahr der Umstehenden in unzählige Stücke zersprungen sind. Man sucht die Ursache dieses Zufalls darin, dafs solche Cylinder oder Kugeln nach dem Blasen zu

plötzlich erkalteten. Da die im Cylinder eingeschlossene Luft möglicher Weise durch ihre Erhitzung oder die Zurückstoſsung ihrer Theilchen durch die im Innern nach dem Gesetze der Vertheilung frei werdende E. daran Antheil haben könnte, so muſs man in die Fassung auf der einen Seite ein Loch machen, damit die Luft frei ausweichen könne. Zur gehörigen Fassung sind die Cylinder an beiden Seiten mit einem Halse versehen. Nicht selten werden diese Halsstücke, oder wenigstens eins derselben an der verschlossenen Seite des Cylinders, die dem Orte, wo hineingeblasen wird, gegenübersteht, erst nach dem Erkalten des Cylinders angeschmelzt, wo es denn nicht selten geschieht, daſs sie losgehen. Diese Hälse werden in Büchsen oder Kappen eingekittet, die man entweder von Messing oder noch besser von einem recht gut ausgetrockneten, in Oel getränkten harten Holze verfertigt. Eine gute Art Kitt wird aus zwei Theilen Pech, zwei Theilen Wachs und einem Theile rothen Ocker verfertigt, die über einem gelinden Feuer unter fleiſsigem Umrühren zusammengeschmelzt werden. Bloſses Pech würde zu brüchig seyn. Einen noch stärker bindenden und gleichfalls vollkommen isolirenden Kitt verfertigt man aus 3 Theilen gelbem Pech und einem Theile Gummilack in Tafeln, das mit fein geriebenem und von allen Sandkörnchen freiem Ziegelmehl vermischt und zu einer Masse zusammengeschmelzt wird, die man, ehe sie erhärtet, in Stangen formt. Damit der gefaſste Cylinder concentrisch laufe, legt man ihn vor dem völligen Erkalten des Kittes in sein Gestell, dreht ihn langsam um, und paſst ihn so auf, daſs er sich in derjenigen Lage befindet, bei welcher in seinem Laufe die meiste Gleichheit und Rundung statt findet. Da aber nur eine Fassung auf einmal angekittet werden kann, so macht man die andere Fassung vorläufig nur mit Zwirnsfäden, die man um den Hals des Cylinders gewickelt hat, fest, dann kittet man die zweite Fassung eben so ein, wobei man vorzüglich darauf zu merken hat, daſs der Lauf des Cylinders so gleichförmig als möglich geschieht und derselbe in seiner Bewegung sich nicht wirft. Sollte der Fall seyn, der sich oft zuträgt, daſs die Zapfen weit aus dem Mittelpuncte stehen, so muſs man die Fassung auf einer Seite etwas ausstechen, und auf der andern Seite etwas Pappe oder Kartenblatt beim Einkitten einlegen, um so die Axen der Kappen in den Mittelpunct zu bringen. Beide Fassungen, so wie ein Theil der bei-

den Seiten des Cylinders bis an die Enden des Reibzeugs werden dann recht gut lackirt. Beide Kappen sind mit hinlänglich, wenigstens einen halben Zoll dicken stählernen Spindeln versehen, die in dieselben vorher hineingetrieben worden sind und an ihrem innern schraubenförmig eingeschnittenen Ende durch Schraubenmuttern noch mehr befestigt werden, mit denen der Cylinder in seinem Gestelle ruht. Ehemals liefs man die Axe durch den Cylinder durchgehen, was aber schädlich ist, da das Eisen die an der äufsern Oberfläche durch Reiben erzeugte E. bindet, und dadurch ihre Wirkung auf den ersten Leiter schwächt. Findet bei aller getroffenen Vorsicht im Erkalten doch noch eine ungleichförmige Bewegung, ein Werfen des Cylinders statt, so wird dem davon abhängenden Nachtheile nur durch eine recht zweckmäfsige Einrichtung des Reibkissens, das durch eine starke Feder angedrückt der Bewegung nachgiebt, abgeholfen.

Muncke[1] erinnert gegen diese gewöhnliche Art der Fassung, dafs das Ueberziehen der inneren Seite der Cylinder mit Harzmasse wegen der Erhitzung leicht gefährlich ist, in die Oeffnung der Fassung feuchte Luft dringt und selbst fester Kitt in sehr heifsen Sommern erweicht, so dafs die schweren Cylinder herabsinken und excentrisch werden. Diesen Uebeln begegnete derselbe durch folgende Art der Fassung. Der an einem oder beiden Enden offene Cylinder wird an einem warmen Stubenofen bei sehr trockner Luft allmälig möglichst und anhaltend erwärmt, und mit hineingebrachten heifsen Handtüchern mehrmals ausgeschwenkt, um durchaus recht trocken zu seyn. Dann wird über die Oeffnung der Zapfen ein geeignetes seidenes Läppchen ausgebreitet, und ein pafslicher Kork so in die Oeffnung hineingedrückt, dafs ihn das seidene Läppchen überall umgiebt. Was vom Korke übersteht, wird abgeschnitten, und der Zapfen mit erweichtem Siegellack oder Elektrophormasse hermetisch verschlossen, wodurch aller Feuchtigkeit der Zutritt in das Innere der mit etwas erwärmter Luft erfüllten Cylinder abgeschnitten ist. Demnächst werden ausgehöhlte Korkstücke auf die Zapfen gepafst, und mit Hausenblasen oder Schreinerleim festgeleimt, deren genaues Anschliefsen an die Wandungen des Glases da, wo die Zapfen angesetzt sind, durch hineingeleimte

1 Aus brieflicher Mittheilung.

Keile oder Stücke von Kork bewerkstelligt werden kann. Diese Korkstücke werden dann mit einer Raspel sorgfältig so geformt, dafs nach gleichfalls aufgeleimten hölzernen Kappen mit den eisernen Zapfen der Cylinder möglichst concentrisch umläuft, wobei man zu stark weggenommene Stellen des Korkes durch aufgeleimte Stücke Leinwand wieder erhöhen kann.

Das Gestell, auf welchem der Cylinder aufruht, mufs hinlänglich stark und zugleich breit genug seyn, dafs sowohl das Reibzeug mit seinem Conductor, als auch der erste Leiter Platz darauf finden, und sich noch auf jeder Seite wenigstens einen Zoll verschieben lassen. Gewöhnlich wird dieses Gestell aus zwei starken senkrechten breiten Pfeilern, die hinlänglich fest in das Bodenbrett vernietet sind, verfertigt, wozu man sehr wohl ausgetrocknetes, in Oel gekochtes, Holz nehmen mufs, die man überdiefs noch mit Bernsteinfirnifs wohl überzieht. Die stählernen Spindeln des Cylinders laufen zur Verminderung der Reibung in Lagern von Messing. Vor einem solchen Gestelle hat indefs eines von zwei starken Glassäulen, nach Art desjenigen, welches die Abbildung meiner Scheiben-Maschine[1] darstellt, unstreitige Vorzüge wegen der vollkommenern Isolirung, da die Axe leicht zur Ableitung der E. Veranlassung geben kann. Da aber ein solches Gestell die Nothwendigkeit mit sich führt, den Cylinder durch eine blofse Kurbel zu drehen, so kann man bei der Anwendung eines Rades das Gestell wenigstens zur einen obern Hälfte ihrer Länge aus zwei kürzeren Glassäulen machen, die in den unteren hölzernen Theil eingelassen sind, an welchen das Rad angebracht ist. Um nämlich dem Cylinder eine sehr schnelle Bewegung geben zu können, wovon ganz vorzüglich die Menge der in einem gegebenen Zeitraume erregten E. abhängt, bringt man gewöhnlich an der einen Seite des Gestells ein Rad an, welches mit einer Kurbel gedreht wird und rings herum auf seinem Umfange eingeschnitten ist. An der einen Spindel des Cylinders wird ein Würtel angepafst, dessen Durchmesser etwa den vierten Theil von dem Durchmesser des Rades beträgt, und welcher durch eine um ihn und das Rad geschlungene Schnur ohne Ende umläuft. Eine allgemeine Unvollkommenheit dieser Einrichtung ist, dafs die Schnur bisweilen schlaff wird, und die Maschine still steht.

1 S. unten.

Diesem wird abgeholfen, wenn man das Rad so einrichtet, daſs es dem Würtel genähert, und davon entfernt werden kann, indem man es durch eine Schraube jedesmal in der gehörigen Entfernung befestigt, sonst kann man auch in die Peripherie des Würtels mehrere Einschnitte von verschiedenen Halbmessern machen. Bedient man sich zur Drehung des Cylinders einer bloſsen Kurbel, so muſs der Hauptstiel derselben eine massive wohl überfirniſste Glassäule seyn, die in wohl getrocknetes und polirtes Holz gefaſst ist, um jede Ableitung der E. zu vermeiden. Versuche haben mich gelehrt, daſs diese Vorsicht nicht ohne Einfluſs auf die Verstärkung der Wirkung einer Maschine ist. Wenn sich gleich diese Einrichtung durch ihre gröſsere Einfachheit vor derjenigen mit dem Rade empfiehlt, so gewährt doch die Letztere, besonders bei Versuchen mit groſsen Batterien den Vorzug der viel schnelleren Ladung, die auch auf einen höhern Grad getrieben werden kann, weil in der viel kürzeren Zeit die E. durch die umgebende Luft weniger abgeleitet wird.

Ein vorzüglich wichtiges Stück zur Vollkommenheit einer Elektrisirmaschine ist die gute Einrichtung des *reibenden Körpers.* Bei den Cylinder-Maschinen kann man die Einrichtung am besten so treffen, daſs das Reibzeug mit dem negativen Leiter unmittelbar verbunden ist. Man nimmt am besten dazu ein seidenes mit Roſshaaren festausgestopftes Kissen, über welches ein Stück dünnes Kalbleder gezogen wird, worauf man das Amalgama einreibt. Dieses Kissen wird an eine metallene Platte, welche seine Rückseite bildet, oder auch an eine der Krümmung des Cylinders gemäſs gebogene Holzplatte, die mit Stanniol überzogen ist, befestigt, in welche nach den beiden Enden zu hinlänglich starke messingene Stifte eingelassen sind, durch welche vermittelst einer starken Feder das Kissen gleichförmig angedrückt werden kann. Um das Kissen schicklich einzurichten, bemerkt Cavallo, müsse man es auf eine solche Art verfertigen, daſs diejenige Seite, an welcher sich die Oberfläche des Glases beim Herumdrehen andrängt, ein so vollkommener Leiter als möglich sey, damit sie (im Sinne der Franklin'schen Theorie) die E. so geschwind als möglich hergebe, die andere Seite aber so viel als möglich ein Nichtleiter, damit nichts von der am Glase angehäuften el. Materie wieder hinter das Kissen gehe. Um aber diesen Zweck zu erreichen, ohne daſs man

darum nöthig hat, den hintern Theil des Kissens aus einem Nichtleiter zu machen, der vielmehr aus einer gut leitenden Platte bestehen mufs, um beim negativen Elektrisiren zwischen dem negativen Conductor und dem Kissen eine gute leitende Verbindung zu unterhalten, ist der vorne am Kissen angemachte Lappen von Wachstaffent, der von dem obern Rande des Kissens über die Fläche des Cylinders bis nahe an den ersten Leiter hinweggeht, vollkommen hinreichend. Diese Verbesserung, die unstreitig eine der wesentlichsten in der Einrichtung des Reibkissens ist, verdankt man dem Dr. Nooth[1]. Wenn man ein simples Kissen ohne einen solchen Lappen anwendet, so bemerkt man eine Feuerlinie an dem vordern Rande desselben, wo das Glas dasselbe verläfst, welche Beccaria aus der vom Glase zurückkehrenden E. ableitete[2]. Eben dieses leitete den Dr. Nooth auf jene wichtige Verbesserung. Nicholson[3] hat eine Reihe von Versuchen angestellt, um den Dienst des seidenen Lappens mehr aufzuklären. Sie sollen nach ihm zeigen, dafs er das vornehmste Wirkungsmittel zur Erregung der E. sey, indem das Kissen die E. nur hergebe, und den Druck am vordern Theile verstärke. Wenn aber Reibung die wesentliche Bedingung zur Erregung der E. ist, und wenn das Reibkissen, wie sich Nicholson in der Franklin'schen Sprache ausdrückt, die E. hergiebt, so mufs man doch wohl dieses als das eigentliche Erregungsmittel der E. betrachten. Dagegen ist die Bemerkung Nicholson's vollkommen gegründet, dafs die Entweichung der E. von der Oberfläche des Cylinders nicht sowohl durch die Dazwischenkunft der Seide, als eines Nichtleiters, als vielmehr durch eine *Bindung* verhindert werde, indem die Seide eben so stark negativ wird, als der Cylinder positiv ist. Die Hauptversuche Nicholson's sind übrigens folgende. Wenn das Kissen einen Zoll von dem Cylinder entfernt, und die Erregung durch den seidenen Lappen allein bewerkstelligt ward, so sah man einen Lichtstrom zwischen dem Kissen und dem Seidenzeuge, und der Conductor gab weit weniger Funken. Legte man eine Rolle trockenes Seidenzeug dazwischen, so

---

1 Phil. Tr. LXIII. Nr. 31.

2 Philos. Trans. LVI. S. 117.

3 Phil. Trans. Vol. LXXIX. P. II. S. 273. übers. in Gren's Journal der Physik III. 49. u. ff.

hörte der Lichtstrom auf, und man bekam noch weniger Funken. Legte man aber eine nicht isolirte Metallstange dazwischen, die sonst keinen Theil des Apparats berührte, so sah man einen dichten Strom zwischen der Stange und dem Seidenzeuge, und der Conductor gab sehr viele Funken. Eine Leidner Flasche, deren Knopf man an die Stelle der Metallstange brachte, war negativ geladen. Das Seidenzeug allein mit einem nach hinten zu angebrachten Stück Zinnfolie, verschaffte viel E.; mehr erhielt man, wenn das Kissen leicht angedrückt ward, noch mehr, wenn man die Hand an das Seidenzeug statt des Kissens anbrachte. Der Rand der Hand that eben so gute Dienste als die Fläche. Ein dickes oder zwei und mehrmal über einander gelegtes Seidenzeug elektrisirte schwächer, als ein einfacher sehr dünner Lappen. Nahm man das Seidenzeug vom Cylinder ab, so entstanden Funken zwischen beiden. Das erstere ward schwach negativ, der letztere positiv.

Auf folgende Weise will Nicholson die stärkste E. mit seinem Cylinder erhalten haben. Er reinigt denselben, und wischt den seidenen Lappen ab, läſst hierauf den ersteren so lange an einem mit Talg bestrichenen Reibzeuge umlaufen, bis er gleichförmig undurchsichtig geworden ist. Dann dreht er ihn so lange um, bis der seidene Lappen so viel Talg abgewischt hat, daſs er halb durchsichtig wird. Er bringt nunmehr etwas Amalgama auf ein Stück Leder, vertheilt es gleichförmig und bringt es an den Cylinder. Hierbei nimmt die Friction unmittelbar zu, und man muſs das Leder nicht eher wegnehmen, als bis sie aufhört, gröſser zu werden. Nimmt man es aber alsdann weg, so wird die Wirkung der Maschine sehr stark seyn. Das Reibzeug seiner Maschine besteht aus einem seidenen Lappen von dem Zeuge, welches die Kaufleute Persian nennen. Dieser wird an ein Leder geleimt. Das Kissen wird gegen den Lappen durch eine dünne Spiralfeder, die in der Mitte seines Rückens angebracht ist, angepreſst (wogegen sich die Feder selbst stemmt, ist nicht näher angegeben) so daſs es ihn in seiner ganzen Länge berührt. Man sollte nach dieser von Nicholson gegebenen, nicht sehr deutlichen, Beschreibung annehmen, daſs nicht eigentlich der seidene Lappen, sondern vermittelst des Leders der gläserne Cylinder selbst mit dem Amalgama gleichförmig eingerieben werde, was aber durchaus nicht zu billigen ist, da vielmehr sorgfältig vermieden werden

mufs, dafs sich keine Theile des Amalgam's an den Glas-Cylinder anhängen, weil sie den Rückgang der E. vom positiven Leiter nach dem Reibkissen erleichtern. Ob das Reibkissen blofs mit Taffent überzogen, oder über den Taffent vom untern Rande des Kissens noch ein Leder übergeschlagen ist, würde an sich gleichgültig seyn, da es ja doch eigentlich die Amalgamafläche ist, an welcher sich der Cylinder reiben soll — indefs scheint mir letztere Einrichtung den Vorzug zu verdienen, da sich das weiche geschmeidige Leder viel besser anlegt und weniger leicht abgenutzt wird. Der an das Reibkissen vorn angenähte Lappen braucht eben nicht von Wachstaffent zu seyn, jedoch mufs er folgende Eigenschaften haben: 1. er mufs durchaus nicht leiten, also auch die Feuchtigkeit nicht anziehen; 2. er mufs keine Unebenheiten haben, besonders an der Seite nicht, wo er das Glas berührt; 3. er mufs nicht starr seyn, damit er das Glas gleichförmig berühre; 4. er mufs nicht zu dick seyn, damit die Falte, womit er an das Reibzeug befestigt ist, sich nicht zu sehr über das Leder erhebe; 5. er mufs nicht zu dünn seyn, um die el. Flüssigkeit nicht durchzulassen. Mit diesen Eigenschaften wird jeder Taffent, er sey geölt, gefirnifst oder gewichst, oder habe auch nur seine ursprüngliche Beschaffenheit, gleich gute Dienste leisten.

Das Kissen selbst mufs wenigstens $\frac{1}{6}$, höchstens $\frac{1}{4}$ des Cylinders umfassen. Bei geringerer Breite wird jeder einzelne Glasstreifen nicht hinlänglich lange gerieben, um das Maximum von E. zu entwickeln, bei gröfserer Breite würde sein hinterer Rand dem ersten Leiter zu nahe kommen, und von da aus die Entladung desselben zu sehr begünstigen. Was seine Länge betrifft, so ist es bei guter Isolirung der Axe hinreichend, wenn die Enden desselben nach Verschiedenheit der Länge des Cylinders einen, höchstens zwei Zoll vom Rande, wo sich der Cylinder nach den Hälsen zu verschmälert, abstehen. Bei nicht so guter Isolirung der Axe wird beim negativen Elektrisiren die Wirkung bei einem solchen Abstande immer geschwächt. Sehr viel kommt auf die gehörige Anpressung des Reibkissens mit hinlänglicher Nachgiebigkeit desselben an. Bei meiner Maschine befindet sich die andrückende Feder im negativen Conductor selbst eingeschlossen, und an das hinlänglich starke Blech desselben an seiner Hinterfläche der Länge nach befestigt. Der Conductor und mit ihm die Feder haben eine mit dem Reib-

kissen gleichlaufende horizontale Ausdehnung. Dieser Conductor ist auf eine starke Glassäule gekittet, welche ihrerseits in einen passenden Fuſs eingekittet ist, der in dem Bodenbrette der Maschine in einer eigenen Nute verschiebbar ist, und durch eine Stellschraube in jeder Lage fixirt werden kann. In die vordere, nach dem Reibkissen gerichtete, Fläche des Conductors sind zwei hinten und vorn offene Hülsen gelöthet, in welche jene oben beschriebene Zapfen oder Stifte der hintern Wand des Reibkissens passen und auf die von der Blechwand abstehenden Seitenflügel der zu diesem Ende gehörig gebogenen, starken Stahlfeder aufstehen. Durch das verschiedene Anschieben des negativen Conductors an den Cylinder kann man den Druck des Reibkissens beliebig reguliren, und die starke Feder wird dasselbe immer gehörig andrücken, wenn auch der Cylinder in seiner Umdrehung etwas ungleich wegen nicht vollkommen centraler Fassung oder nicht vollkommener Rundung seines Umfanges gehen sollte[1].

Der dritte Haupttheil der Maschine ist endlich der erste Leiter, ein isolirter, vollkommen leitender Körper, der an seiner, dem Cylinder zugekehrten, Seite nach der Gröſse des Cylinders mit einer oder einigen Spitzen, die in gleicher Richtung mit dem untern Rande des Lappens etwa $\frac{1}{4}$ Zoll unterhalb stehen, versehen ist, und dem man auch wohl den Namen des Collectors gegeben hat. Sonst gebrauchte man statt eines solchen Zuleiters eine Quaste von Goldfäden, aber wenige Spitzen thun weit bessere Wirkung. Nicholson nach dem Vorgange van Marum's lieſs sogar die Spitzen ganz weg, und begnügte sich, den dünnen cylindrischen Zuleiter unterhalb dem freien Rande des Wachstaffents und von gleicher Länge mit diesem so nahe wie möglich an den Glascylinder zu bringen. Ich habe indeſs durch vergleichende Versuche gefunden, daſs bei sonst gleicher Einrichtung, namentlich bei gleicher Ausdehnung des Conductors, die Anhäufung der E. an demselben einen höheren Grad erreicht, wenn der sogenannte Einsauger mit einigen Spitzen bewaffnet ist. Es beruht nämlich alles darauf, daſs in diesem Einsauger die Dichtigkeit der E., welche derjenigen des

1 Die Einrichtung, welche J. C. Hoffmann in der oben angeführten Schrift S. 32 dem Reibzeuge zu geben vorschlägt, habe ich an einer von ihm verfertigten Maschine nicht bewährt gefunden.

Cylinders entgegengesetzt ist, den höchst möglichen Grad annehmen könne, um mit der gröfsten Leichtigkeit in hinlänglicher Menge auszuströmen, und die durch das Reiben erzeugte E. fortdauernd auszugleichen, wodurch dann die (derjenigen des Cylinders gleichnamige) im isolirten Conductor zurückbleibende E. auf den höchsten Grad gebracht wird, und in dieser Hinsicht haben feine hervorragende Spitzen vor allem den Vorzug, wie Biot nach Coulomb's Versuchen mit aller Schärfe gezeigt hat. Ehemals hing man den ersten Leiter an seidenen Schnüren auf, er steht aber auf Glasfüfsen weit fester und sicherer. Man verfertigt ihn am besten von Messingblech, und nur bei sehr grofser Ausdehnung, um die Kosten zu vermindern, aus Holz oder Pappe mit Zinnfolie überzogen. Einen solchen weit ausgedehnten Leiter kann man nun als *zweiten Leiter* von dem *ersten* gleichsam noch unterscheiden und auf seine zweckmäfsige Einrichtung kommt zur Verstärkung der Wirkungen der Elektrisirmaschine sehr viel an, worauf ich noch bei der näheren Betrachtung dieser Wirkungen zurückkommen werde. Zur weiteren Erläuterung und Veranschaulichung des bisherigen mag eine kurze Beschreibung und Abbildung einer sehr einfachen Cylindermaschine nach Cavallo dienen, an welcher fast alle die von mir angegebenen Verbesserungen angebracht werden.

Fig. 40. Ihr Gestell besteht aus dem Brette ABC, welches mit zwei eisernen Klammern an den Tisch geschraubt werden kann. Auf diesem Brette stehen zwei starke hölzerne Säulen AH und LK, die den Cylinder und das Rad tragen. An der messingnen Haube, worin der eine Hals des Cylinders FF gefafst ist, geht eine stählerne Spindel durch die Säule KL hindurch, und trägt jenseits dieser Säule einen Würtel. Auf der Peripherie dieses Würtels sind 3—4 Einschnitte, um der veränderlichen Länge der Schnur nachgeben zu können, welche um den Würtel und den Einschnitt an der Peripherie des Rades D gezogen wird. In der andern Haube des Cylinders ist ein kleines Loch, in welches das conische Ende einer starken Schraube geht, die durch die Säule H geschraubt ist. Das Rad D wird vermittelst des Handgriffs E um eine starke Axe gedreht, welche in der Säule LK befestigt ist.

Das *Reibzeug* dieser Maschine besteht aus einem dünnen, mit Haaren ausgestopften, seidenen Kissen, welches an jedem Ende um zwei Zoll kürzer als der Cylinder ist, und auf einmal etwa

den vierten Theil von dem Umfange des Cylinders berührt. Es ist mit seidenen Schnüren an ein Holz gebunden, das eine zu der Oberfläche des Cylinders passende Gestalt hat. Am obern Ende des Kissens befindet sich ein Stück Wachstaffent, das fast den ganzen oberen Theil des Cylinders bedeckt; an das untere Ende des Holzes, woran das Kissen gebunden ist, wird ein Stück Leder befestigt, welches sich über das Kissen biegt, damit es zwischen dieses und den Cylinder kommt, und auf welches das el. Amalgama mit etwas Schweineschmalz eingerieben wird. Das Kissen wird von zwei Federn gehalten, die hinten an dasselbe angeschraubt sind, und aus der hölzernen Haube einer starken gläsernen Säule hervorkommen, die auf dem untern Brette steht. Sie muſs wohl lackirt seyn und hat einen hölzernen Fuſs, der sich in einem Falze im Fuſsbreite verschieben und durch eine Schraube feststellen läſst, damit man nach Belieben das Kissen stärker oder schwächer an den Cylinder andrücken könne. Der erste Leiter ist von Messingblech, und ruht auf zwei mit Siegellack überzogenen Glassäulen, die mit messingnen Füſsen in das Fuſsbrett befestigt sind. Er saugt die E. (nach der Franklin'schen Ansicht gesprochen) durch die Spitzen des Kammes oder Collectors L ein, welche etwa einen halben Zoll von der Oberfläche des Cylinders abgerückt werden.

Vom Kissen hängt gewöhnlich eine Kette herab, welche die Erde berührt, und in diesem Falle erhält der erste Leiter + E. Verlangt man — E so wird diese Kette abgenommen und an den ersten Leiter gehangen, wonach das isolirte Kissen beim Umdrehen — E. erhält. Verbindet man mit demselben einen andern isolirten Leiter, der dem ersten völlig ähnlich ist, so wird auch dieser — E erhalten.

Was an dieser Maschine zu tadeln ist, sind die Messingfüſse, in welche die Glassäulen, die den ersten Conductor tragen, eingekittet sind, da sie zur Ableitung der E. Veranlassung geben, in welcher Hinsicht die von van Marum angegebene Einrichtung solcher Füſse weit vorzuziehen ist [1]. Auch kann es sich bei der Unterstützung des Cylinders auf der einen Seite wohl ereignen, daſs die conische Spitze aus der Vertiefung in der Haube ausweicht, und der Cylinder dann durch sein eigenes

1 S. unten.

Gewicht einen Bruch des Halses in der entgegengesetzten Haube herbeiführt. Endlich scheint die von mir oben näher beschriebene unmittelbare Verbindung des Reibkissens mit dem negativen Leiter wegen ihrer Einfachheit den Vorzug zu verdienen.

Adams[1] beschreibt zwei Cylinder-Maschinen, die beide mit einander übereinkommen, nur daſs die eine mit einer bloſsen Kurbel, die andere vermittelst eines Rades bewegt wird. Sie sind sonst beide völlig wie Cavallo's Maschine eingerichtet. Nur am Kissen fehlt das Leder, statt dessen geht ein Stück Wachstaffent oder Seidenzeug vom untern Rande des Kissens aus, und über den Cylinder so weit hinweg, daſs es fest an die einsaugenden Spitzen des ersten Leiters anstöſst. Der Leiter zum — E ist an einem hölzernen Arme auf der Glassäule, die das Kissen trägt, fest, eine Vereinfachung, die eigentlich Nairne zuerst eingeführt hat, der die meisten Glascylinder-Maschinen in England, zum Theil von sehr groſser Wirksamkeit, verfertigte. Die einzige, wesentlich neue, Einrichtung an den Cylinder-Maschinen, die zu den bisher beschriebenen noch hinzugekommen, ist die von Nicholson angegebene, um vermittelst einer Cylinder-Maschine, wie dieses durch van Marum später an den Scheiben-Maschinen so sinnreich ausgeführt worden ist, an einem und demselben Leiter beide Elektricitäten darzustellen. Zu diesem Behuf schlug er vor, an eben demselben Leiter zwei Kissen eines auf jeder Seite zu befestigen, das Reibzeug aber mit dem seidenen Lappen beweglich zu machen. Will man die entgegengesetzte E. haben, so löst man das Leder von dem Reibzeuge ab, und befestigt es an dem andern Kissen auf der entgegengesetzten Seite des Cylinders, der selbst nun nach der entgegengesetzten Seite umgedreht wird[2]. Indeſs sind dergleichen Maschinen nie in Gang gekommen, und Nicholson's Beschreibung derselben ist selbst zu kurz, um sich eine recht deutliche Vorstellung davon zu machen.

B. Glasscheiben-Maschinen.

Um das Jahr 1766 wurden die Maschinen mit *runden Glasscheiben* bekannt, welche der englische Künstler Ramsden mit vielem Beifalle verfertigte. Er gab sich für den Erfinder derselben aus, wofür ihn auch Priestley in der ersten Ausgabe

1 Versuch über die E. S. 14 ff.

2 Vergl. Gren's Journal der Ph. III. 56.

seiner Geschichte der E. erklärt, in der zweiten aber wird Dr. INGENHOUSS als Erfinder genannt. SIGAUD DE LA FOND[1] erzählt, daſs er schon 1756 eine Scheibe von Krystallglas an einer Axe gedreht mit Vortheil als Elektrisirmaschine gebraucht habe; als sie ihm aber durch den allzustarken und ungleichen Druck des Kissens zersprungen sey, so habe er diesen Gedanken wieder aufgegeben. Nach einer Nachricht in der allgemeinen deutschen Bibliothek[2] ist der eigentliche Erfinder dieser Maschinen PLANTA, Stifter und ehemaliger Director des Haldenstein'schen Seminariums, der sich derselben um das Jahr 1760 bedient hat. Dr. INGENHOUSS[3] sagt, daſs er seit dem Jahre 1764 angefangen habe, sich der Glasscheibe zu bedienen, weil er von der Reibung derselben an beiden Seiten sich viel versprochen. Er habe eine noch sehr unvollkommene Probe davon dem Dr. FRANKLIN und andern Freunden in London gezeigt, worauf sie bald von RAMSDEN und andern Künstlern nachgemacht worden.

Nach der ersten Einrichtung bestanden diese Maschinen aus einer kreisrunden Glasscheibe, welche in verticaler Stellung mit einer Kurbel gedreht wurde, die an einer eisernen, mitten durch die Glasscheibe hindurchgehenden Axe befestigt war. Die Scheibe wird von vier ovalen Kissen gerieben, die ungefähr zwei Zoll breit sind, und von denen je zwei an jeder Seite der Scheibe an den beiden Enden des verticalen Durchmessers stehen. Das Gestell besteht aus einem Brette, das man mit einer eisernen Klammer auf einen Tisch befestigen konnte. Auf dem Brette stehen zwei Pfeiler von Holz, die mit einander parallel laufen, und oben durch ein Querholz verbunden sind. Diese tragen in ihrer Mitte die Axe der Glasscheibe, und an sie sind auch die Kissen befestigt, die durch Schrauben mehr oder weniger festgedrückt werden können. Der Leiter war ein hohler Cylinder von Messing, an dessen Ende sich zwei Arme ausbreiteten, welche bis nahe an das Glas reichten, und an ihrer innern gegen die Scheibe gekehrten Seite mit Spitzen versehen waren. Eine umständliche Beschreibung dieser damals ge-

1 Précis des Phén. él. P. I. Sect 1. Chap. 2.

2 Anhang zum 13—24. Bande 1ter Abtheilung S. 549.

3 Vermischte Schriften herausgegeben von Molitor. 2. Aufl. Wien 1787. gr. 8. I. Bd. S. 172. u. f.

bräuchlichen Maschinen liefern Schmidt[1] und d'Inarre[2]. Soviel auch diese Maschinen gleich im Anfange leisteten, so gaben sie doch bei dieser Einrichtung zu der Klage Veranlassung, daſs die metallene Achse sehr viel von der erregten E. annehme und ableite. Fontana hatte für das Cabinet des Groſsherzogs von Toskana eine solche Maschine mit einer doppelten Scheibe von 18 Zoll Durchmesser verfertigen lassen, wo jede Scheibe auf beiden Seiten an zwei Orten gerieben wurde. Diese gab so starke E., daſs der Leiter Funken gegen die Axe schlug, welche durch die Kurbel und den Körper der drehenden Person in den Boden gingen.

Cuthbertson in Amsterdam half dem erwähnten Fehler dadurch ab, daſs er die kupferne Achse zwischen beiden Glasscheiben mit einem gläsernen Ringe umgab, den er mit Siegellack an die Scheiben ankittete. Die beiden Arme des ersten Leiters führte er zwischen die beiden Scheiben hinein bis nahe an den Glasring, so daſs sie alle dazwischen erregte E. aufnehmen muſsten. Bei der ersten Einrichtung dieser Scheiben-Maschine war es nicht leicht möglich, die Kissen zu isoliren und negative E. zu erhalten. Le Roy in einer schon 1772 vorgelesenen Abhandlung[3] schlug daher vor, die Kissen an eine Glassäule zu befestigen, und zwei Leiter anzubringen, wovon einer mit dem Kissen verbunden, der andere gegen die Scheibe gerichtet ist, wodurch man in Stand gesetzt würde, beide Arten von E. wie bei den Cylinder-Maschinen zu erhalten. Lichtenberg in Gotha hatte sich schon im Jahr 1773 eine sehr vollkommene Scheiben-Maschine zu positiver und negativer E. nach seiner eigenen Erfindung verfertigen lassen. Der Graf von Brilhac gab eine Maschine mit zwei Glasscheiben an[4], welche vermittelst eines groſsen Rades, eben so wie sonst die Glas-Cylinder, umgedreht wurden. Dadurch würde in dem Verhältnisse, in welchem in einer gegebenen Zeit mehr Glasfläche, als bei der gewöhnlichen Einrichtung, gerieben werden konnte, die Elektricitätserregung unstreitig vermehrt werden können. Indeſs geht

1 Beschreibung einrr Elektrisirmaschine und deren Gebrauch. Jena 1773. 4.

2 Von der E. Erster Theil. Frankfurt 1784. 8. S. 23 u. ff. Taf. IV.

3 Rozier observations sur la Physique. Tome IV. Janv. 1775. p. 53. ff.

4 Observ. sur la Physique May 1780.

dadurch der Vortheil einer mehr compendiösen Einrichtung verloren, und bei grofsen Glasscheiben nimmt die Gefahr des Zerbrechens sehr zu. Daher ist diese Einrichtung nicht in Gang gekommen, so wenig als die vom Abt Bertholon vorgeschlagene einer umgekehrten Scheibenmaschine, nach welcher sich ein runder Reiber zwischen zwei Glastafeln bewegte, so wie die Vorrichtung eines gewissen Franz Magiollo in Venedig[1], der an dem Rande eines buchsbaumenen Rades von 3 Fuſs im Durchmesser 8 Glas-Platten von ½ Fuſs Breite setzte, welche einen Glasring um dasselbe bildeten. Ingenhouss[2] stellte seine ganze Maschine auf 4 Glasfüſse, wodurch also die Kissen zur Erhaltung der negativen E. isolirt werden können. Die Kissen selbst waren mit Leder und Flanell überzogen und wurden durch Federn angedrückt. Von ihnen gingen zwei Flügel von Wachstaffent nach Art des Lappens des Dr. Nooth bei den Cylinder-Maschinen aus bis ganz nahe an die Arme des ersten Leiters.

Um die E. zu verstärken, wurden selbst drei Scheiben auf eine Axe gefaſst, wodurch aber die Isolirung der Reibkissen fast unmöglich, so wie die Bewegung der Maschine sehr erschwert wurde. Besonders suchte man aber durch Gröſse der Scheiben die Wirkung zu verstärken. Sigaud de la Fond führt als die gröſste in Frankreich, die ihm damals bekannt geworden war, die des Herzogs von Chaulnes an, deren Scheibe 5 Fuſs im Durchmesser hatte und bei günstiger Witterung Funken von 22 Zoll Länge gab[3]. Die gröſste Maschine dieser Art wurde in der Zeit, in welcher die bisher angeführten Verbesserungen allmälig bei den Scheibenmaschinen angebracht worden waren, von Cuthbertson für das Teyler'sche Museum in Haarlem verfertigt, welche durch die mit ihr von van Marum angestellten Versuche so bekannt geworden ist. Sie besteht aus zwei Glasscheiben, jede von 65 englischen Zollen im Durchmesser, die aus Frankreich gekommen sind. Sie stehen 7½ Zoll weit aus einander, und werden an 8 Kissen, jedes 15½ Zoll lang gerieben. Die Axe und um sie an der Scheibe selbst ein Kreis von 33 Zoll Durchmesser ist mit einer harzigen Mischung bedeckt.

---

1 Licht. Magazin Bd. II. St. 1. S. 137.

2 Vermischte Schriften 1784. 8. S. 147.

3 Journ. de Phys. 1788. Nov. p. 62.

Die Achse liegt auf Glassäulen, auch steht das ganze Gestell der Maschine auf Glasfüfsen, um die Reibkissen dadurch isoliren und negativ elektrisiren zu können. In gerader Linie mit der Achse 68 Zoll weit von den Scheiben steht eine gläserne 57 Zoll hohe Säule, die einen kupfernen, 22 Zoll langen, Cylinder mit kupfernen Kugeln von 9 Zoll Durchmesser an seinen Enden trägt. Am Ende von der Maschine abwärts hat dieser Cylinder eine Röhre mit einer Kugel von 4″ Durchmesser, (von welcher die gröfsten Funken erhalten werden s. u.) am andern Ende zwei rechtwinklich angesetzte Arme 9 Zoll lang am Ende mit Kugeln von 6 Zoll. Auf jeder Seite der Maschine parallel mit der Achse steht noch eine 57 Zoll hohe Glassäule mit einem solchen Cylinder. Aus jedem geht ein rechtwinklich gebogener Arm 14 Zoll lang hervor. Beide Arme kommen zwischen die Scheiben, und haben an jeder Seite vier Spitzen zum Einsaugen. Diese drei Hauptstücke des Leiters sind noch durch zwei kupferne Cylinder verbunden, der ganze Leiter aber hat 23½ Quadratfufs Oberfläche. Zwei Personen, bei langer Dauer vier, die bei negativer Elektrisirung auf einem eigenen Gestelle isolirt sind, drehen die Scheiben an ihrer langen Kurbel um. So riesenhaft auch die Wirkungen dieser Maschine sind, so ist sie doch weit entfernt von dem Ideale einer vollkommen gebauten Scheibenmaschine. Insbesondere gilt dieses von der Einrichtung derselben für die negative E., die daher auch viel schwächer als die positive ausfällt. Da man nämlich die Reibkissen nicht für sich allein isoliren kann, sondern das ganze Gestell und mit diesem die zwei Personen, die sie drehen, mit isoliren mufs, so wird der Luft eine allzugrofse leitende Fläche dargeboten, und dadurch die Zerstreuung der negativen E. und die Zuleitung von positiver aus der Atmosphäre zu sehr begünstigt.

Cuthbertson, der diese grofse Maschine verfertigt hatte, führte eine ähnliche in einem kleinern Mafsstabe aus, deren Einrichtung hier noch eine nähere Angabe verdient, da sie zu einer Reihe interessanter Versuche der berühmten holländischen Physiker J. R. Deimann und A. Paets van Troostwyk gedient hat[1].

Diese Maschine besteht aus zwei Glasscheiben von 31 engl.

---

1 Beschreibung einer Elektrisirmaschine u. s. w. herausgegeben von John Cuthbertson Leipz. 1790. 8.

Zollen Durchmesser, welche 7 Zoll weit von einander parallel an einer Achse stecken und durch vier Paar Kissen gerieben werden, welche 8 Zoll lang, 2 Zoll breit, auch wie bei der Teyler'schen mit Leder überzogen, und an ihrem vordern Rande mit Streifen von Wachstaffent versehen sind. Die Achse der Scheiben ist von Messing und hat 1,5 Z. Durchmesser. In der Nähe der Scheiben ist sie mit hölzernen Cylindern umgeben, welche 4 Zoll dick mit einem el. Kitt überzogen sind, so wie die Scheiben selbst bis auf 3 Zoll weit von der Achse einen Ueberzug von Siegellack haben. In das Ende der Achse, wo sich die Kurbel befindet, sind Schraubengänge geschnitten, mittelst deren ein Stück massives, mit Siegellack überzogenes Glas 10 Zoll im Durchmesser und zwei Zoll dick an die Achse geschraubt wird. An dieses Glas ist auf der innern Seite ein Stück Messing mit einer Schraubenmutter, und an der äufsern eine viereckige messingene Platte mit einer Schraube befestigt. An dieser sitzt die Kurbel, die einen Kreis von 22 Zoll Durchmesser beschreibt. Die Achse wird von drei Säulen aus massivem Glase getragen; zwei davon befinden sich an dem vordern Theile, jede 4 Zoll weit von der Kurbel entfernt, die dritte trägt der Achse hinteres Ende. Ihre Höhe ist 3 Fufs 4 Zoll; jede Säule besteht aus zwei Stücken, die in der Mitte durch einen messingnen Cylinder verbunden sind. Das Fufsstück und Gebälke der Maschine, an welche auch die Kissen befestigt sind, ist von Mahagoniholz. Das Gebälke, welches die obern Kissen trägt, hat keine gröfsere Oberfläche, als eben nöthig ist, um die Vorrichtung, an welcher die Kissen sind, zu halten. Unter der zwei Zoll dicken Mahagonitafel, auf welcher die Glassäulen befestigt sind, welche die Maschine tragen, befindet sich eine andere Tafel von Mahagoniholz, von eben der Gestalt und Dicke, wie das Fufsstück; diese ist an Letzteres angeschraubt, unten ruht sie auf drei massiven Glassäulen, die 2 Z. dick und 16 Z. lang sind. Diese Säulen sind mit ihrem Fufse in eine andere Tafel von Mahagoniholz befestigt, welche eben die Form hat, wie die vorigen, nur etwas gröfser ist, mit welcher letztern Tafel die Maschine den Fufsboden berührt, und ihrer eigenen Schwere überlassen, hinlänglich fest steht, was auch den Vortheil gewährt, dafs man die Maschine zu jeder Zeit verrücken kann. Der erste Leiter besteht aus 5 hohlen messingnen Cylindern. Zwei derselben, welche Cuthbertson die *Arme*

nennt, haben die Gestalt eines Winkelhakens; an dem einen Ende derselben befinden sich die *Empfangstücke*, welche die E. aufnehmen, am andern Ende gehen unter einem rechten Winkel zwei Arme heraus, die sich in das Hauptstück des Conductors endigen. Bei allen Absätzen dieser Stücke sind Kugeln angebracht. Die Empfangstücke haben an jeder Seite fünf stählerne Spitzen, und ihre Entfernung von der Achse beträgt 8 Zoll. Der ganze erste Leiter ruht auf einer 2 Zoll dicken und 2 Fuſs hohen massiven Glassäule, welche da, wo der Conductor aufliegt, in einer Länge von 6 Zoll mit einem dicken, nach unten hin dünner werdenden, Ueberzuge von Siegellack bedeckt ist. Um die Mitte der Säule befindet sich abermals ein solcher spindelförmiger Ueberzug. Beim *positiv* Elektrisiren wird ein Messingdraht von $\frac{1}{4}$ Zoll Durchmesser mit dem Gebälke der Maschine verbunden. Dieser ist an der Decke des Zimmers befestigt, an einer Wand auf den Fuſsboden herab und zwischen den Tafeln desselben bis an das andere Ende des Zimmers fortgeführt, wo er durch ein Loch im Boden bis in eine Grube geht, die beständig mit Grundwasser angefüllt ist. Mit diesem leitenden Drahte wird auch das Fuſsstück verbunden. Auf diese Art wird dem Kissen die el. Materie zugeführt, und wenn man die E., welche die Maschine einem andern Körper mitgetheilt hat, wieder hinwegschaffen will, wird dieser letztere ebenfalls mit dem leitenden Drahte verbunden.

Zum *negativ* Elektrisiren nimmt man die Empfangstücke von den Armen ab, und stellt den Conductor so auf die Glassäule, daſs die Arme in einer Verticalebene stehen, und Kopf und Fuſs des Pfeilers, welcher die Achse trägt, berühren. Um die positive el. Materie, welche die Scheiben durch das Reiben an den Kissen erhalten, wieder abzuführen, und dadurch die Anhäufung der — E an den Kissen zu erhalten, wird bei der Teyler'schen und andern Scheiben-Maschinen der gewöhnliche positive Leiter mit dem Fuſsboden verbunden. Hier aber werden zwei besondere Stücke dazu gebraucht, die zu beiden Seiten der Mitte des Fuſsstückes zwischen die Ränder der Scheiben gestellt werden. Von diesen beiden Stücken besteht jedes aus einer massiven Glassäule, oben mit einer hölzernen Bekleidung versehen, in welche das Empfangstück, das sich vorhin am Arme des ersten Leiters befand, mit seiner Kugel gesteckt wird. Auf dieser Kugel sitzt noch eine kleinere, von der ein Draht

zum Boden herabgeht und die el. Materie abführt. Diese Vorrichtung kann auch gebraucht werden, um Batterien ohne den grofsen Conductor positiv zu laden, indem man sie mit dem erwähnten Drahte verbindet. Eben so kann zur negativen Ladung einer Batterie ein kleinerer Leiter gebraucht werden, der aus einer gebogenen messingnen Röhre von 1 Zoll Durchmesser besteht, und zwei Fufs von dem hintern Pfeiler der Maschine absteht. Diese Einrichtung verschafft also den Vortheil, Batterien sowohl positiv als negativ ohne einen Conductor von grofsem Umfange laden zu können, der sonst der feuchten Luft zu viel Fläche darbietet. Man hat auch noch den Nutzen, dafs man auf diese Art kein so grofses Zimmer zu den Versuchen bedarf.

Van Marum beschäftigte sich aber besonders mit der Verbesserung der Scheiben-Maschine, und wir verdanken ihm die vollkommene Einrichtung, welche sie nunmehr besitzet, und wodurch sie jede andere Art von Elektrisirmaschinen übertrifft. Im Jahre 1789 machte er zuerst eine bessere Einrichtung der *Reibzeuge* bekannt[1], welche vorzüglich darin bestand, dafs er an dem Ende derselben, wo die Scheibe bei ihrer Bewegung sie verläfst, den Wachstaffent von Dr. Nooth anbrachte mit einer angemessenen Einrichtung, um ihn recht glatt zu spannen, auch richtete er die Reibkissen selbst so ein, dafs sie an das Glas auf eine gleichförmige Art angedrückt wurden. Im Jahre 1791 erschien aber die Beschreibung und Abbildung der ganz neuen Einrichtung der Scheibenmaschine selbst in einem Schreiben an Ingenhouss[2], die wir hier wieder ihrem Wesentlichen nach mittheilen, da diese neu eingerichtete Maschine als eine Mustermaschine zu betrachten ist.

---

1 Lettre de M. van Marum à Mr. le Chev. Landriani a Milan, contenant la description des frottoirs électriques, dont l'effêt surpasse de beaucoup celui des frottoirs ordinaires. à Haarlem 1789. 4; auch im Journal de Physique Avril 1789 S. 274. ff.; übers. in Gren's Journal der Physik II. 167.

2 Description d'une Machine électrique construite d'une manière nouvelle et simple, et qui réunit plusieurs avantages sur la construction ordinaire im Journal de Physique Juin 1791, auch angehängt der Tweede Vervolg der Priefnemingen u. s. w. Haarlem 1795. Uebers. im Gothaischen Magazin für das Neueste aus der Physik VII. Bd. 4tes St. S. 461 ff. ingl. in Gren's Journ. der Physik IV. 3. u. ff.

Das Hauptaugenmerk van Marum's bei der Errichtung seiner Maschine war, dasselbe mit der Scheibenmaschine zu leisten, was Nicholson durch eine neue Einrichtung an der Cylindermaschine bewirkt hatte, nämlich an einem und demselben Leiter *beide Elektricitäten*, die positive und die negative darstellen zu können, demnächst aber auch die negative E. von derselben Stärke wie die positive zu erhalten, was bei der früheren Einrichtung, wo die negative E. nur durch Isolirung der ganzen Maschine erhalten
Fig. 41 u. 42. werden konnte, unmöglich gewesen war. Die beschriebene Maschine hat eine Scheibe von 32 Zoll. Die Reibzeuge an derselben sind unmittelbar isolirt, indem jedes Paar von einer eigenen Glassäule A getragen wird. Bei den Scheibenmaschinen, wie sie sonst eingerichtet waren, sind die Reibzeuge vertical gestellt, es müssen also zwei Seitenpfosten dabei seyn, die oben ein Querstück tragen, an welchem die oberen Reibzeuge befestigt werden. Um bei dieser Einrichtung eine vollkommenere Isolirung der Reiber erhalten zu können, sind Anstalten nöthig, welche van Marum früher bei einer aus zwei Scheiben bestehenden Maschine angebracht hatte, die aber eine unbequeme Ausdehnung herheiführten. Die neue bequemere horizontale Stellung und damit erreichte vollkommene Isolirung der Reibkissen wird nur dadurch möglich, dafs die Axe der Scheibe B h auf einer einzigen Säule C ruhet und auf derselben gedreht wird. Diese letztere Säule hat aus diesem Grunde ein verlängertes Gesimse K, welches zwei kupferne Pfannen D trägt, die ganz nahe an den Enden des verlängerten Gesimses angebracht sind, worin sich die Achse drehet, und an welchen zwei entsprechende, über die Achse greifende, Ueberlagen durch zwei starke Schrauben befestigt sind, um die Achse gehörig festzuhalten. Letztere hat ein Gegengewicht O von Blei, um zu verhüten, dafs das Gewicht der Scheibe nicht zu viel Reibung in den Ueberlagen D verursache. Man sieht gleich beim ersten Blicke, dafs die Reibzeuge von allen umgebenden Gegenständen durch ihre gläsernen Träger hinlänglich entfernt sind, um beim negativen Elektrisiren E. aus ihnen anziehen zu können, die Achse etwa allein ausgenommen, die aber zum Theil aus einem Nichtleiter verfertigt ist, um die Anziehung des + und die Zerstreuung des — nach ihr zu verhindern. Der Bogen des Conductors EE, welcher die beiden Zuleiter (Einsauger des + E) FF trägt, ist

an der Achse G fest, welche sich in der Kugel H dreht. Diesem Bogen oder Halbkreise EE gegenüber an der andern Seite der Scheibe befindet sich ein anderer Bogen JJ aus Messingdraht von $\frac{1}{4}$ Zoll Dicke, an dessen Enden zwei kleinere Zuleiter LL sich befinden, der auf die Achse durch eine Scheibe, von welcher seine beiden Arme ausgehen, aufgesteckt ist, und frei um dieselbe gedreht werden kann, wie der Bogen EE, um ihn entweder in die verticale oder horizontale Stellung bringen zu können, in welcher letzteren er einerseits den obern, andrerseits den unteren Rand der Reibkissen berührt, um sie beim *positiven* Elektrisiren mit (positiver) E. zu versehen. Will man sich im Gegentheile desselbigen Conductors für die *negative* E. bedienen, so hat man nichts weiter nöthig, als den Bogen EE zu drehen, bis seine Zuleiter FF die Reibzeuge berühren, und den Bogen JJ in die verticale Stellung zu bringen, um die E. zu absorbiren, welche durch das Reiben auf der Oberfläche der Scheibe haftet, zu welchem Behuf die kleinen Zuleiter LL ungefähr $\frac{1}{8}$ Zoll von der Scheibe abstehen. Die sonstige Einrichtung des ersten Leiters an dieser Maschine gewährt durch seine Stabilität, indem er mit derselben ein Stück ausmacht, einen bedeutenden Vortheil vor den sonst gebräuchlichen ersten Leitern der gewöhnlichen Elektrisirmaschine, denen man stets wieder ihre rechte Stellung geben mufs, und die selbst während der Versuche wegen der Erschütterung des Bodens ihre Lage in Beziehung auf die Scheibe verändern können. Der Conductor besteht blofs aus einer Kugel H von 9 Zoll Durchmesser durch drei Schrauben auf eine kleine Haube M befestigt, welche an eine Zwinge gelöthet ist, die auf den Träger N gekittet wird, und dieser Träger ist auf dem Bodengestelle der Maschine festgemacht. Die Zuleiter FF sind ohne Spitzen, es sind Cylinder von 6″ Länge und $2\frac{1}{2}$ Breite aus dünnem Kupfer, die sich in Halbkugeln endigen. Van Marum beabsichtigte vorzüglich dadurch das Ausströmen der E. gegen das Reibzeug zu verhindern, welches aus den demselben am nächsten gelegenen Spitzen der Saugarme bei der gewöhnlichen Einrichtung statt finde. Indefs haben mich Versuche mit einer ganz nach dem Muster der beschriebenen eingerichteten Maschine gelehrt, dafs diese Art von Zuleitern, wenn sie auch der Scheibe noch so nahe gebracht werden, (van Marum näherte sie bis auf $\frac{1}{8}$ Zoll) doch die E. nicht so vollkommen einsaugen,

als Spitzen, und dafs man auch das Ausströmen nach dem Reibkissen (und nach der Achse, welches nicht weniger in Betrachtung kommt) hinlänglich verhütet, wenn man an die Enden der beiden Bogen zwei runde, etwa 5″ im Durchmesser haltende, etwas ausgehöhlte Scheiben anbringt, die an ihrer der Glasscheibe zugekehrten ausgehöhlten Fläche mit drei Spitzen versehen sind. Um die Zerstreuung der E. des Conductors längs den Trägern zu verhüten, sind diese mit Kugeln T T von Mahagoniholz versehen, welche zugleich die kupfernen Zwingen, die auf die Träger eingekittet sind, bedecken, deren Ränder, wenn sie unbedeckt wären, den Verlust eines grofsen Theils der dem Conductor mitgetheilten E. verursachen würden. Alle drei Träger haben auch unten Ringe von Mahagoniholz, V, V, V, um die kupfernen Zwingen zu bedecken, in welche die Träger gekittet, und welche mit breiten Füfsen versehen sind, um auf der Basis des Apparats vermittelst eiserner Schrauben recht gut befestigt zu werden.

Eine besondere Sorgfalt hat van Marum darauf verwendet, die Achse an seiner neuen Maschine isolirend zu machen, um alle Zerstreuung der E. durch dieselbe möglichst zu verhindern. Die Mitte des nicht leitenden Theils der Achse ist ein Cylinder von Nufsbaumholz a a a a, der am Feuer so stark ausgetrocknet worden ist, dafs er so gut isolirt als Glas. Er wird nachher, wenn er noch heifs ist, mit Bernsteinfirnifs überzogen. Die beiden Enden dieses Cylinders, welche von einem kleineren Durchmesser sind, werden durch starke Hammerschläge in starke kupferne Kappen oder Zwingen b und c eingeprefst, und durch drei eiserne Schrauben d d festgehalten. Der Cylinder a a und die beiden Zwingen b, c sind mit einer Lage von Gummilack e e e e bedeckt, um den hölzernen Cylinder desto besser in seinem isolirenden Zustande zu erhalten und zu verhindern, dafs der Stand der Zwinge c nicht gegen die andere Zwinge ausströme, was verursachen würde, dafs es auch die Zuleiter des Conductors gegen die Achse thäten. Der Boden der Zwinge b ist auf das Ende der eisernen Achse B festgeschraubt. Der Boden der Zwinge c, der 4″ im Durchmesser hat, endigt sich in eine Achse, von 1″ Dicke und 2″ Länge, deren Ende zu einer Schraube geschnitten ist. Man stellt die Glasscheibe darauf und drückt sie durch eine Schraubenmutter h von Buchsbaumholz, die zu einer Halbkugel abgedreht ist, fest. Zwischen

der Fläche der Zwinge und der Scheibe und zwischen dieser und der Schraube h sind zwei Ringe von Filz, und in dem Loche der Scheibe, das zwei Zoll im Durchmesser hat, ist auch ein Ring von Buchsbaumholz, damit die Scheibe auf keine Weise das Kupfer berühre und keine Risse darin entstehen. Die Schraubenmutter h hat zwei Löcher i i, um die Spitzen eines eisernen Schlüssels aufzunehmen, mit welchem man auf und zuschraubt. Diese Art der Fassung der Scheibe gewährt mannigfaltige Vortheile vor der sonst gewöhnlichen, wo die Scheibe zwischen zwei Backen fest gekittet wurde. Die Gefahr, welche beim Aufkitten der Backen für das Springen der Scheibe statt findet, fällt hier ganz weg, die Maschine wird ungemein leicht transportabel, da die Scheibe für sich allein, wie jedes Spiegelglas leicht verpackt, uud auch die übrigen Theile, von einander getrennt, bequem zusammengelegt werden können; endlich ist, wenn man ein Unglück mit der Scheibe gehabt haben sollte, der ganze übrige Apparat unverändert zu gebrauchen, indem man bloſs eine neue Scheibe anpaſst. Auſser allen diesen Verbesserungen empfiehlt sich diese neue Maschine auch noch durch sehr zweckmäſsig eingerichtete Reibzeuge von der Art, wie sie van Marum in jenem früheren Schreiben an Landriani beschrieben hat. Fig. 43. Sie werden aus einer Holzplatte, die die Rückwand derselben bildet, verfertiget, dieses Holz wird mit einem äuſserst locker gesponnenen dicken und elastisehen Wollengarn (oder auch mit Roſshaaren) belegt, und mit schwedischem Hundsleder oder dünnem Kalbsleder überzogen. Nach einer ersten Einrichtung hatte van Marum die Scheibe an Taffent gerieben, der durch ein mit Sammet überzogenes Holz an das Glas angedrückt wurde; bei gröſseren Maschinen, wie namentlich bei der Teyler'schen, bei welcher er diese Einrichtung anbringen wollte, war aber die Reibung zu stark, und er muſste daher zum Leder wieder seine Zuflucht nehmen, das unter allen Umständen den Vorzug verdient. Ihre Länge beträgt bei der van Marumschen Maschine 9″, wodurch also die Scheibe in einer sehr groſsen Ausdehnung gerieben wird, und wobei zwar das vordere Ende der Reibkissen der Achse sehr nahe kommt, bei der isolirenden Beschaffenheit derselben aber darum doch, wenn negativ elektrisirt wird, kein Ausströmen nach derselben zu befürchten ist. Auſserdem ist dieses vordere Ende mit Scheiben von Gummilack y y bedeckt, welche auf drei Seiten

hervorstehen, und verhindern, dafs die Ränder und Ecken dieses Theils im erwähnten Falle keine E. einziehen (nämlich im Sinne der Franklin'schen Theorie). Auch ist ein Paar der
Fig. 41. Reibzeuge mit einer Kugel J versehen, um zu verhindern, dafs die Enden der hölzernen Stäbe *a a*, an welchen der Wachstaffent befestigt ist, nicht E. einsaugen. Am andern Paare der Reibzeuge ist es dadurch verhindert, dafs die Stäbe *β* so kurz gemacht werden, dafs die Kugel T das Einsaugen verhindert.
Fig. 43. Die Breite dieser Reibzeuge beträgt nur 2½″. Sie werden durch eiserne (oder messingene) Federn e, e festgedrückt, welche durch eine gemeinschaftliche Schraube nach Belieben angezogen werden können. An jedes Reibzeug ist eine Eisen- (oder Messing-)Platte x, x angemacht, welche 3″ lang und 1″ breit ist. Sie ist durch Schrauben auf dem Rücken des Reibzeuges befestigt, und diese Platte ist an das Ende der Feder durch ein gewöhnliches Charnier festgemacht. Jedes Paar der Reibzeuge ist durch eine Schraube auf eine kupferne Platte befestigt, welche die Form eines Schwalbenschwanzes hat, und welche in eine Kugel Z von 6″ im Durchmesser, die auf die Zwinge des gläsernen Trägers A geschraubt ist, pafst. Der Theil der Kugel Z, welcher dem Rande der Scheibe gegenüber steht, ist bei ¼ des Durchmessers abgeschnitten, so dafs der Schnitt fast 5″ im Durchmesser hat. An dieser Stelle ist eine Kupferplatte a a von ¼″ Dicke angelöthet, welche in Form eines Schwalbenschwanzes ausgehöhlt ist, um den Schieber oder die Platte von Kupfer *a a* aufzunehmen. Die Mitte dieses Schiebers ist viereckt durchbohrt, um eine Schraube c durchzulassen. Die Eisenplatte d d, welche die beiden Federn e e durch Charniere verbindet, wird über diese Schraube gesteckt, und auf dem Schieber *a a* durch Hülfe einer starken Schraubenmutter f festgehalten. Man bringt die beiden Schieber *a a* an ihre respectiven Stellen an der Kugel Z von oben her, und da sie unten schmäler sind, als oben, so müssen sie fest halten, wenn sie weit genug herabgedrückt sind. Die dünnen Eisenbleche, womit die Reibzeuge auf ihrem Rücken versehen sind, und welche das Charnier x x berühren, indem sie die ganze Breite des Reibzeugs bedecken, schliefsen sich an die mit Amalgama bestrichene Fläche an. Die Bleche haben hier den doppelten Nutzen, den Uebergang des el. Fluidums gegen das Amalgama zu erleichtern, wenn man *positiv* elektrisirt, und die Communi-

cation zwischen dem reibenden Amalgama und dem Conductor am vollkommensten zu machen, wenn man sich der *negativen* E. bedient. Die Art der Befestigung und die Form der Flügel von Wachstaffent, die an die Reibkissen angebracht werden, erhellet aus der Zeichnung hinlänglich, und die erforderlichen Eigenschaften des Taffents sind oben angegeben.

Aufser dieser Einrichtung der Scheiben-Maschine scheint mir noch diejenige eine nähere Beschreibung zu verdienen, durch welche der Zweck *gleich starker positiver* und *negativer Elektrisirung* eben so vollkommen, aber auf eine viel einfachere Weise erreicht wird, und welche neben diesem Vorzuge noch viel gröfsere Wirkungen durch die sogenannte einfache, nicht verstärkte, E. am ersten Leiter hervorbringt, wenn sie gleich in Rücksicht auf die wirkliche Quantität der durch das Reiben erregten E., und eben darum beim Laden von Flaschen und Batterien nachsteht. Ich theile zu diesem Behuf eine Beschreibung und genaue Abbildung meiner eigenen Maschine mit. Sie ist von einem schon verstorbenen, sehr geschickten, Künstler Boht in Hamburg gearbeitet, welcher viele empirische Kenntnisse in diesem Fache besafs, und aus langer Erfahrung die Verhältnisse der Conductoren, ihre Länge, Dicke, ihre Endungen, um das Maximum von Wirkung zu erhalten, sehr richtig zu bestimmen wufste. Das Eigenthümliche dieser Maschine besteht darin, dafs die Scheibe nur von einem einzigen Paare Reibkissen, die wie an der van Marum'schen Maschine eine horizontale Stellung haben, gerieben wird, und dafs diesem Paare Reibkissen gegenüber sich der Einsauger befindet. Alle Mafse sind nach Pariser Mafs bei jedem Theile genau bemerkt. Die Scheibe von dem besten polirten weifsen Glase, deren Rand am Umfange sehr genau abgeschliffen ist, worauf bei Scheiben sehr viel ankommt, ist auf eine sehr einfache und doch solide Weise auf ihre hölzerne Axe gefafst. An dieser ist nämlich auf der einen Seite des Glases, welche nach der Kurbel hingerichtet ist, eine hölzerne Halbkugel, aus einem Stücke gedrehet, angebracht, in der andern Hälfte der Axe dagegen, da wo sie an das Glas angrenzt, ein Schraubengewinde eingeschnitten. Nachdem die Axe durch das Loch der Scheibe, das nicht ausgefüttert zu seyn braucht, durchgesteckt ist, wird eine andere gleich grofse Halbkugel, in welche eine, jener männlichen entsprechende, weibliche Schraube eingeschnitten ist,

Fig. 44 u. 45.

auf dieselbe auf und fest an die Glasscheibe angeschraubt, und um dieses Anschrauben recht dicht machen zu können, werden die nach der Scheibe hingekehrten Flächen der beiden Halbkugeln mit Scheiben von weichem und recht gleichförmigem Schafsleder versehen, die zu diesem Behuf in der Mitte ein Loch haben, um auf die Axe aufgesteckt zu werden. Das feste Anschrauben geschieht vermittelst eines starken zweiarmigen Schraubenziehers, zu dessen Anbringung in jener aufzuschraubenden Halbkugel die nöthigen Löcher angebracht sind[1]. Die hölzerne Axe ist von einem recht trockenen und harten Holze, und um sie noch isolirender zu machen, so wie die Halbkugeln mit einem guten Firnifs dick überzogen. Diese Axe ruht auf beiden Seiten auf zwei hohen massiven Glassäulen, welche in eine starke hölzerne Fassung von Mahagoniholz mit einem eingeschnittenen Lager für die Axe eingelassen sind. Die obere Hälfte dieses Lagers ist durch zwei starke Holzschrauben mit wohl abgerundeten Köpfen fest angeschraubt. Die Kurbel ist eine starke Glasstange, deren Handgriff ebenfalls von wohl polirtem Mahagoniholze gemacht ist, und die am andern Ende in eine grofse ringförmige Fassung von Mahagoniholz, welche über die Achse greift, eingekittet ist. Das Reibzeug besteht

---

1 Muncke vermeidet die Pressung, welche die Scheibe hiernach in ihrer Mitte erleidet, dadurch, dafs er die ledernen Scheiben auf beiden Seiten mit etwas venetianischem Terpentin bestreicht, wodurch sie so fest an das Glas und Holz kleben, dafs es keines Anziehens der Schraube bedarf. Hiermit ist indefs der Nachtheil verbunden, dafs nach dem unglaublichen Erhärten des Terpentins die Halbkugeln von der Scheibe nicht wieder getrennt werden können. Deswegen pflegt derselbe den kugelförmigen Theil der Axe aus vier Segmenten verfertigen zu lassen, wovon die zwei, welche an der Scheibe anliegen, etwa 0,75 bis 1 Z. dick am Glase auf die angegebene Weise festgeklebt, und dann nach dem Durchstecken der Achse mit den beiden andern durch Pflöcke verbunden werden. Fig. 46
Fig. 46. zeigt eine solche Fassung für zwei Scheiben, wobei aa eine massive gläserne Axe ist, h deren messingene Fassung mit einem Theile der gläsernen Kurbel b; die parallelen Scheiben c, c' liegen zwischen den
Fig. 47 u. 48. aufgeklebten Stücken *αα*; *α'α'*, deren Befestigung auf dem hölzernen Ueberzuge der gläsernen Axe aus der Zeichnung ersichtlich ist, *β*, *β'* endlich sind die halbkugelförmigen Schlufsstücke. Man kann sonach beide Scheiben mit den angeklebten Stücken *αα*; *α'α'* von der Axe nehmen, und durch zwischengelegte Stücke Papier ihre Flächen leicht völlig parallel machen.

aus zwei Stücken, einem hölzernen an welches die das Kissen andrückende Feder befestigt ist, und dem eigentlichen Reibkissen gg, welches davon getrennt werden kann. Das untere Stück ist mit einem Ansatze in die hölzerne Kugel d fest eingelassen, und mit dieser Kugel auf die Glassäule pp, wodurch der Reibungsapparat auf das vollkommenste isolirt ist, festgekittet. Auf der innern Seite dieser in die Kugel eingelassenen Stücke ist eine starke gabelförmige, eiserne, wohl lackirte Feder angebracht, die mit ihrer Krümmung an die dem Rande der Scheibe zugekehrte Fläche der hölzernen Kugel durch eine Schraube befestigt ist, mit ihren beiden Armen längs den Ansätzen jener Holzstücke an ihrer innern Seite hinläuft, mit denen auf beiden Seiten eine aufwärts gehende gabelförmige Feder verbunden ist, die mit ihren weit aus einander stehenden Armen in zwei Höhlungen des eigentlichen Reibkissens eingreift. Zu diesem Behuf besteht dieser Theil des Reibers aus einer starken Holzplatte mit einem Rahmen, über welchem das eigentliche mit gutem Kalbsleder überzogene Kissen gespannt ist, an dessen Rückseite noch kreuzweise federnde Streifen von Eisenblech angebracht sind, an welchen die gleichförmige Feder anliegt. Um diesen für sich beweglichen und abnehmbaren Theil des Reibzeugs an der gabelförmigen Feder festzuhalten, sind die Enden ihrer Arme in Ringe umgebogen, durch welche der messingene Stab pp gesteckt wird, der an seinem Ende mit der elfenbeinernen Kugel r versehen ist, um alles Ausströmen zu verhindern. Um das Reibkissen beliebig stark andrücken zu können, geht auf jeder Seite durch den Rücken des festen Theiles eine hölzerne Schraube, welche auf die aufwärts gehende Feder, da wo sie sich in die Gabel spaltet, aufdrückt, und nach dem Grade, wie sie angezogen wird, diesen mehr oder weniger stark an den gegen die Scheibe gekehrten elastischen Theil des eigentlichen Reibkissens andrückt. Der horizontale Theil der Feder ist an einem Messingstab angeschraubt, der durch die Kugel d hindurchgeht, und an seinem Ende eine hölzerne, wohl lackirte, Kugel e trägt. Alle Ränder der Reibzeuge sind auf das vollkommenste abgerundet, und alles Holzwerk ist wohl überfirnifst.

Der Einsauger c ist eine Gabel von wohl lackirtem nach aufsen abgerundeten Holze, von derselben Länge, wie das Reibkissen, deren innere Fläche ausgehöhlt und mit einigen Fig. 44.

Spitzen besetzt ist, über welche noch ein ganz dünner Taffen gespannt ist. Diese Spitzen sind in Metallstreifen eingelassen, welche in Verbindung mit einem kupfernen Stifte sind, der durch die Kugel c hindurchgeht, frei in einer Länge von 7'' hervorsteht, und eben so wie der messingene Stab am Reibkissen mit einer hölzernen Kugel b sich endigt. Zwischen den Armen dieser Gabel bewegt sich die Scheibe so nahe durch, dafs sie beinahe von ihr berührt wird. Um den Taffent gehörig zu spannen, ist oben in das Lager der Axe ein wohl lackirter hölzerner Stab eingesteckt, der sich in eine Glassäule endigt, von welcher ein hölzerner Querarm ausgeht, der zwei mit der Scheibe in einer Richtung befindliche, an ihren beiden Enden durch eine Kugel von Elfenbein zusammengehaltene Leisten trägt, zwischen welchen der Taffent geklemmt ist, der mit dem untern Rande der nach den Reibkissen gerichteten Flügel an diese selbst angenäht ist.

Fig. 49. Zu dieser Maschine gehören zwei Conductoren von Messingblech, die auf beinahe 3 Fufs hohen Glassäulen isolirt stehen, von cylinderischer Form, 3' 1'' lang und 4'' 2''' im Durchmesser, die sich in zwei Knöpfe von einem etwas gröfseren Durchmesser endigen, in deren Mitte messingene Röhren, die bis zu einer Länge von 1' 2'' ausgezogen werden können, eingesteckt sind, wovon sich die eine in eine kupferne Kugel von 4'' 3''', die andere in eine Kugel von 2'' 4''' endigt. Beim Gebrauche der Maschinen werden diese Conductoren mit ihren kleinen Kugeln in dichte Berührung mit den messingenen Stäben in senkrechter Richtung auf dieselben gebracht, und da unter diesen Umständen auf beiden Seiten sich alles auf gleiche Weise verhält, so werden die Aehnlichkeiten und Verschiedenheiten der positiven und negativen E. um so entscheidender, und es ist ein ganz besonderer Vortheil dieser Einrichtung, dafs man mit beiden E. zu gleicher Zeit ganz unter denselben Umständen experimentiren kann. Da nur ein Paar Reibzeuge hier angebracht ist, so geschieht die Bewegung dieser Maschine mit grofser Leichtigkeit, auch bei starkem Andrücken der Reibkissen. Der gröfste Vortheil dieser Art der Construction ist jedoch die bei gleichem Durchmesser der Scheiben gröfsere Entfernung des ersten Leiters vom Reibkissen, als bei der Anbringung von zwei Paar Reibkissen, wodurch die Entladung des ersten Leiters nach dem Reibkissen, und umgekehrt (letzteres beim negativen

Elektrisiren) erschwert wird, und die Anhäufung und Intensität der E. in dem Conductor und eben damit die Länge und Stärke des einfachen Funkens, die Gröſse der Feuerbüschel u. s. w. sich viel weiter treiben läſst. Wie auſserordentlich viel die eben beschriebene Maschine zu leisten vermöge, werden wir weiter unten bei der Vergleichung ihrer Wirkungen mit denjenigen von gleich groſsen Scheiben deutlich ersehen. Ohne Zweifel hängt übrigens die auſserordentliche Wirksamkeit derselben, auſser der Güte der Scheibe, von der vollkommenen Isolirung ab, indem alles Metall auf das sorgfältigste vermieden, alle Kugeln am Reibzeuge und dem Einsauger von wohl überlackirtem Holze gemacht, die Glassäulen bloſs in Holz eingelassen sind u. d. g. m. Beim Gebrauche dieser Maschine zur Ladung von Batterien wird der groſse Leiter gar nicht gebraucht, sondern die Verbindung unmittelbar mit dem aus der Kugel des gabelförmigen Einsaugers hervorstehenden Messingstabe gemacht, so wie denn auch, wenn man bloſs Versuche mit positiver E. anstellen will, der andere groſse Conductor nicht gebraucht, sondern das Reibzeug durch einen starken Draht unmittelbar mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt wird.

C. Glas-Glocken-Maschine.

Wolfram hat eine neue Art von Elektrisir-Maschinen in Vorschlag gebracht, die aus ähnlichen Glasglocken bestehen, wie diejenigen, die zu Recipienten bei der Luftpumpe dienen [1]. Eine solche Glocke dreht sich, ihren gewölbten Theil nach unten gekehrt, auf einer senkrecht stehenden Achse, und wird nich nur an der äuſsern, sondern auch an der innern Fläche gerieben, wodurch sie sich von der Cylinder-Maschine wesentlich unterscheidet, und gleichsam mit der Scheiben-Maschine Aehnlichkeit bekommt. Fig. 50.

Das Gestell A gleicht einem Säulenfuſse, ist aber eigentlich ein hölzerner 36 Zoll hoher Kasten. Die Grundfläche desselben hat 23″, der horizontale Durchschnitt des Rumpfes 21″ und die Deckplatte a b 24″ im Quadrat. Die Deckplatte, um sie nach Umständen leicht abnehmen zu können, wird bloſs festgehalten durch vier im Innern des Gestells befindliche und in Oesen der Platte eingreifende Hacken, und schlieſst überdies mit 4 an ihrer untern Fläche befindlichen Leisten an den Rumpf des Ge- Fig. 51.

1 Gilb. Annalen 1823. II. S. 53.

stelles genau an. Der Mechanismus zur Umdrehung der Glocke ist in dem Gestelle angebracht, und zwar an der untern Fläche der Deckplatte. Er besteht in einer Schraube ohne Ende, welche vermittelst der Kurbel cd in Bewegung gesetzt wird. Das Stirnrad hat 21, und das Getriebe acht Schraubengänge, die Glocke macht also etwas mehr als 2,5 Umgänge, während die Kurbel einmal herumgedreht wird, wodurch ein hinlänglich schneller Umlauf entsteht; das Rad ist von Messing und das Getriebe von Stahl, und beide befinden sich in einem Gehäuse, welches aus vier eisernen, fast $\frac{1}{8}$ Zoll dicken, Platten besteht. Die untere dieser Platten ist 3″ lang und 2″ breit, die obere dagegen einige Zoll länger und breiter. Diese obere Platte wird mit 4 Schraubenmuttern auf die beiden Seitenplatten befestigt, welche 3″ breit und eben so hoch sind, und mit der Bodenplatte aus einem Stücke bestehen können. Damit man die ganze Vorrichtung an das obere Blatt ab des Gestelles gehörig befestigen könne, ist in dieses in der Mitte eine Metallplatte eingelassen, an welche sich das Gehäuse so anschrauben läſst, daſs die 3″ weit hervorragende, oben viereckige, Welle des Getriebes genau senkrecht steht. Jede der beiden Seitenplatten hat einen Einschnitt 1 Zoll tief und 1,5 Zoll breit, in welchen ein 0,5 Zoll dickes vierkantiges, oben und unten mit einem Falz versehenes, Stück Messing eingeschoben wird. Diese beiden in der Mitte durchbohrten Metallstücke sind die Futter für die Welle des Stirnrades. Statt der Schraube ohne Ende läſst sich auch bei dieser Maschine der Mechanismus mit einem Rade und Würtel anbringen, welches bei der starken Reibung der Schraube ohne Ende wohl besser ist. Die Glocke G ist von weiſsem Glase, und muſs wenigstens so weit als sie gerieben wird, möglichst cylindrisch, und an ihrem gewölbten Theile mit einem Halse versehen seyn. Ihr Hals und ein Theil der Wölbung werden in eine wohl abgedrehte Haube eh von festem und gedörrtem Holze eingekittet. Unten hat die Haube eine messingene Fassung f, mittelst welcher die Glocke auf den über das Gestell hervorragenden Theil des Getriebes aufgesetzt
Fig. 52 u. 53. wird. Das Reibzeug ist demjenigen, welches VAN MARUM an seiner verbesserten Scheiben-Maschine angebracht hat, in der Hauptsache ähnlich. Die einzelnen Theile desselben sind folgende: 1. Zwei Brettchen 8″ lang und 3″ breit. Die dem Glase zugekehrte Fläche des einen Brettchens ist seiner Breite nach

etwas convex, die des andern etwas concav. Die Puncte an der Seite 1 stellen beinerne Knöpfchen von 2‴ Durchmesser vor; eine gleiche Anzahl befindet sich auch an dem andern, auch trägt jedes an der Mitte seines obern Randes ein solches Knöpfchen. 2. Zwei dünne Latten p, v, 8″,5 lang, 2″ breit und 3‴ dick. 3. ein Stück Holz q r 3″ hoch, von der Breite der Latten, und übrigens so gestaltet, wie die Figur zeigt. 4. Ein Stäbchen s t, bei s mit einem Knopfe, bei t mit einem Gewinde und einer Schraubenmutter versehen, alles vom festesten und trockensten Holze. Nahe am Knopfe ist dieses Stäbchen vierkantig, der übrige Theil ist abgedreht, die ganze Länge beträgt 4″. Die beiden Lattchen sind durch Charniere oben mit dem Stücke q r und unten mit den Brettchen n u verbunden, welche für diesen Zweck in der Mitte ihrer Länge einen Absatz haben. Das Stück q r ist von der vordern Seite nach der hintern durchbohrt, um den kleinen Stab s t durchzulassen. Das Lättchen p hat zu gleichem Behuf eine vierkantige, das Lättchen v eine runde Oeffnung. Noch gehören zum Reibzeug 5. die beiden Polster x x. Sie bestehen aus mehreren Lagen eines weichen wollenen Zeuges, und das Ganze ist mit Seidenzeug überzogen. Jedes Polster wird an die vorhin gedachten Knöpfchen angehängt, eben so das mit Amalgama bestrichene Leder oder Seidenzeug. Die leitende Verbindung dieses mit dem Brettchen wird durch ein um den Polster gelegtes Blatt Stanniol, und die jedes Brettchens mit dem Conductor durch einen Metalldraht bewirkt. Nur an den Kissen des äufsern Reibers befindet sich der seidene Lappen.

Zur Verbindung des Reibzeugs mit der Maschine dienen 4 Stücke insgesammt von Messing; nämlich 1. zwei horizontal liegende Röhrchen in dem für die negative E. bestimmten Conductor. 2. Zwei mit Kugeln versehene Stäbe y z, welche sich in jenen Röhrchen leicht hin und her schieben lassen, ohne im mindesten zu schlottern. 3. Die beiden oben und unten mit Kugeln versehenen Stäbchen a a, welche mit den Kugeln 4″ lang sind; 4. endlich zwei Querstäbchen, wovon eins bei b sichtbar ist, dessen Zapfen durch die Kugeln c c hindurchgehen, und sich in die Kugeln d d endigen, in welchen sie sich leicht umdrehen lassen. Das andere Querstäbchen ist durch das Stück q r, bei e gesteckt, seine aus demselben hervorragende Zapfen gehen durch die Kugeln ff, und haben, so weit sie aus diesen

hervorragen, Gewinde, an welchen die kleinen Kugeln gg vorgeschraubt werden.

Die beschriebene Einrichtung des Reibzeugs gewährt den Vortheil, es immer an die rechte Stelle bringen zu können, die Glocke mag eng oder weit seyn, dem Schwanken der Glocke nachzugeben, ohne daſs die Stärke des Reibers im mindesten geändert wird, durch Anziehen oder Nachlassen der Schraubenmutter bei t eine Vergröſserung oder Verminderung des Druckes nach Belieben zuzulassen, und bei nicht ganz cylindrischer Krümmung der Glocke den an dem einen Reibkissen zu geringen Druck durch den stärkeren des andern gleichsam zu ersetzen.

Die beiden Hauptleiter der Maschine sind hohle messingene Cylinder 3″ im Durchmesser und 16″ lang. An ihren Enden haben sie Kugeln von 4″ Durchmesser, mit welchen sie auf massiven überfirniſsten und 27″ hohen Glassäulen ruhen. Unten ist jede dieser Glassäulen in ein Fuſsgesimse gekittet, welches sich an einem viereckigen, auf dem Deckblatte des Gestells befestigten Untersatz aufschrauben läſst. Oben haben die Säulen keine Fassung, und die in den Kugeln befindlichen, unten offenen, Röhren werden unmittelbar auf die angeschliffenen Zapfen der Glasstäbe gesetzt. Die unter der Kugel an jeder Säule befindliche Hülse ist von Holz.

Zur Aufnahme der E. von der Glocke dient die in der Zeichnung angegebene Vorrichtung am vordern Leiter. Es ist
Fig. 54. r eine messingene Röhre 1″ weit und 7½″ lang, die Kugeln k, l haben 1,5 Zoll im Durchmesser. Von einer zur andern ist ein Clavierdraht gespannt, welcher die Stelle der einsaugenden Spitzen vertritt, und vor diesen Vorzüge hat. Ueber der Kugel k befindet sich die engere 3,5 Zoll lange Röhre mit der durchbohrten Kugel m, welche sich längs des Stäbchens n, an dessen einem Ende die Kugel w befindlich ist, verschieben und mittelst der Schraube o feststellen läſst. Quer durch die Mitte des Hauptleiters geht in horizontaler Richtung ein Röhrchen, welches zu beiden Seiten etwas hervorsteht; an der vordern
Fig. 51. Seite wird die Kugel J, mittelst welcher sich ein Quadrantenelektrometer und manche zu den Versuchen nöthige Vorrichtungen leicht an den Leiter befestigen lassen, vorgeschraubt,
Fig. 54. an der, der Glocke zugewandten, Seite hat das Röhrchen einen wohl abgerundeten Ring mit einer Schraube, mittelst welcher

das in das Röhrchen passende Stäbchen n, nachdem man es so weit hineingeschoben, dafs der Clavierdraht von der umlaufenden Glocke nicht mehr berührt wird, festgehalten werden kann. Von einem doppelten Einsauger würde nur dann Gebrauch zu machen seyn, wenn die Schwankung der Glocke beträchtlich wäre. In der Wirkung der Maschine fand kein Unterschied statt, ob nur der einfache Einsauger an der äufsern oder innern Fläche der Glocken, oder der doppelte angebracht war. Fig. 55.

Auf der Deckplatte des Gestells ist unter der Kugel l ein gewöhnlicher Funkenmesser angebracht, dessen Kugel n sich in verschiedene Entfernungen bringen läfst. Eine kurze Würdigung der etwaigen Vorzüge dieser Art von Maschinen vor den beiden bisher abgehandelten, wird weiter unten ihren Platz finden. Fig. 51.

II. Elektrisirmaschinen aus andern Materien als Glas.

Es ist nach dem bisher Angegebenen und nach dem im Artikel *Elektricität* über die Erregung derselben im Allgemeinen Vorgetragenen leicht einzusehen, dafs sich aus noch vielen andern sogenannten eigenthümlich elektrischen Substanzen wirksame Elektrisirmaschinen verfertigen lassen, wenn sie nur in eine passende Form gebracht werden können, um ein schnelles fortgesetztes Reiben zuzulassen. Man sieht auch leicht ein, dafs man solche Maschinen durch schickliche Wahl des idioelektrischen Körpers und des Reibzeugs unmittelbar für negative E. einrichten kann. Und wirklich sind auch mehrere solche nicht unwirksame Maschinen von verschiedenen Physikern ausgeführt.

Volta gab in einer Dissertation[1] Nachricht von einer Elektrisirmaschine, die aus einer blofsen Scheibe von wohlausgetrockneter Pappe verfertigt war, aus welcher er schöne grofse Funken erhielt, eine Leidner Flasche ziemlich stark lud u. s. w. Auch Dr. Ingenhouss versuchte schon 1772 den, wenn sie grofs sind, kostbaren und doch leicht zerbrechlichen, Glasscheiben runde mit Copal- oder Bernstein-Firnifs getränkte

1 De corporibus eteroelectricis quae fiunt idioelectrica experimenta atque observationes. 1771.

Scheiben von Pappe unterzuschieben [1]. Er drehte drei solcher Pappdeckel an einem Gestell, in welchem sie sich an zwischenliegenden, mit Flanell und einem Hasenbalge überzogenen, Brettern rieben und erhielt dadurch eine starke E. mit 5 Zoll langen Funken, die sich sehr geschwinde folgten. Aber in einem kalten Zimmer zog die Pappe Feuchtigkeit an und verlor alle Kraft. Van Marum verfiel auf den Gedanken [2] eine Scheibe von Gummilack, deren unterer Theil in ein Gefäfs von Quecksilber reichte, und sich also beim Umdrehen an Quecksilber rieb, den Glasscheiben zu substituiren, die aber bei feuchter Witterung unwirksam sind, wenn sie nicht vorher stark erhitzt werden, wobei die Gefahr des Springens eintritt. Da aber die Verfertigung von dergleichen Scheiben beschwerlich und die Geräthschaft kostbar ist, so hat dieser Vorschlag nicht den erwarteten Beifall gefunden. Pickel schlug zu Scheiben-Maschinen für negative E. im Backofen wohl ausgedörrtes Holz vor [3] und machte selbst glücklichen Gebrauch davon. Auch Volta beschreibt eine solche Scheiben-Maschine von gedörrtem Holze, die von bedeutender Wirkung war. Kohlreif [4] brachte an seiner Scheiben-Maschine hölzerne Scheiben an, wenn er — E dadurch erhalten wollte. Sie werden aus solchem Holz, das wenig Harz hat, verfertigt. Die Scheibe wird geglättet, und bei öfterem Umkehren über einem Kohlenfeuer stark geröstet, aber nicht gebrannt. Die schicklichsten Reiber hierzu sind kurzhaariges Rauchwerk z. B. gut gegerbte Maulwurfs- oder Ratzenfelle. Das Krümmen der Scheiben beim Rösten ist kaum zu vermeiden, man mufs sie aber gleich nach dem Rösten zwischen weiches Papier legen, und mit einem Gewichte beschweren. Sie sind auch biegsam und bequemen sich beim Umdrehen nach dem Kissen. Noch besser eignen sich gewisse vorzüglich aus der Classe von Seiden-, Wollen- und Baumwollenzeugen genommene Materien zu Elektrisir-Maschinen von cylindrischer Form. Eine der wohlfeilsten Maschinen dieser Art, und welche dennoch die gewöhnlichen Elektrisir-

---

1 Verm. Schriften von Molitor. Wien 1784. gr. 8. S. 18 ff.

2 Abhandlung über das Elektrisiren aus dem Holländ. übers. von Möller, Gotha 1777. 8.

3 Experimenta physico-medica de electricitate. Wirceb. 1778. 8.

4 S. Lichtenb. Magazin Bd. I. St. 3. S. 103.

Maschinen an Stärke zuweilen übertrifft, weil man sie durch Erwärmen so leicht gegen die schädlichen Wirkungen der Feuchtigkeit schützen kann, ist die von Lichtenberg[1] im Jahre 1781 angegebene. Das vorzüglichste Stück an derselben, wodurch sie sich von andern unterscheidet, ist die mit schwarzem glatten wollenen Zeuge überspannte Trommel a a a a. (Man kann sie auch mit Seidenzeug, Glanzleinwand oder Papier überspannen. Zeug und Leinwand werden blofs mit Stiften befestiget, um sie im Nothfall von neuem zu spannen). Die an beiden Seiten des Gerippes befindlichen hölzernen Scheiben m m sind an den innern Seiten mit Streben versehen, damit sie sich nicht einwärts beugen, und der Spannnng des Zeuges nachtheilig werden können. Die beiden Axen-Enden der Trommel b b gehen, wenn das Gestell aus einander genommen werden kann, durch dessen Seiten. Ist das Gestell fest zusammengefügt, so kann sich die Trommel auch hinter vorgeschraubten eisernen Platten bewegen. Der Reiber d d ist ein mit langhaarigem Katzenfelle überzogenes Kissen, das an eine starke Glasröhre, oder in deren Ermangelung an einem Stab von gebackenem und mit Firnifs überzogenem Holz befestigt wird; die Röhre oder der Stab geht durch den obern Theil des Gestelles, wo eine Schraube f befindlich ist, sie in der gehörigen Stellung festzuhalten. Von dem Kissen geht mitten durch die Röhre oder den Stab ein starker metallener Draht bis zu der oben befindlichen metallenen Kugel g. Diese Zurichtung dient dazu, das Kissen zu isoliren, um dadurch die entgegengesetzte E. zu erlangen. An der vordern Seite des Kissens gegen den Zuleiter hin ist ein Streifen Wachstaffent h h befestiget, der über einen Theil der Trommel hinreicht. In einiger Entfernung unter der Trommel ist auf dem Gestelle ein Brett, auf welches eine Kohlenpfanne i gestellt werden kann, um der Trommel im Sommer die nöthige Wärme und Trockenheit zu verschaffen; im Winter ist es schon hinreichend, die Maschine in die Nähe eines Ofens oder Kamins zu bringen. Die Kette k am Halse der Kugel g, dient sowohl die el. Materie abzuleiten, da das Kissen isolirt ist, oder wenn sie mit einem isolirten Conductor verbunden wird, die entgegengesetzte E. zu erhalten. Der metallene Conductor ist mit dem Zuleiter o verbunden, und steht auf einer starken Glassäule p.

Fig. 56 u. 57.

Fig. 58.

1 Gothaisches Magazin für das Neueste u. s. w. Bd. I. St. 1. S. 83.

Die Kette ll ist nöthig, die E. weiter zu führen, oder wenn ein Conductor mit dem Kissen verbunden ist, und man die positive E. desselben in jenen anhäufen will, die negative E. abzuleiten. DONNDORF[1] beschreibt diese Maschine unter dem Namen des *Lichtenberg'schen Luftelektrophors* (der ganz unpassend auf dieselbe ist) in einer etwas veränderten Gestalt, die ihr der bekannte Mechanicus STEGMANN (zuletzt Professor in Marburg) gegeben hatte, wodurch sie aber nur vertheuert wurde. WALKIERS DE ST. AMAND hat 1784 eine sehr wirksame, zu dieser Classe gehörige Elektrisirmaschine angegeben und ausführen lassen[2]. Sie besteht aus zwei hölzernen Cylindern von 2 Fuſs Durchmesser und 6 Fuſs Länge, die in zwei 7—8 Fuſs von einander entfernten Gestellen mit Kurbeln umgetrieben werden. Ueber die beiden Cylinder selbst ist ein gefirniſster Taffent, der an beiden Enden zusammengenäht ist, gezogen und mäſsig gespannt, so daſs die Maschine fast wie ein Seidenweberstuhl oder wie eine horizontal gelegte Garnwinde aussieht. Wenn man die Cylinder mit den Kurbeln dreht, so wird der hinlänglich stark gespannte Taffent mit gedreht, und bewegt sich nach und nach über alle Puncte der Cylinder. Die Breite des Taffents ist 5 Fuſs. Das Reibzeug besteht aus 7 Fuſs langen und 2″ im Durchmesser haltenden Cylindern, die mit Katzenbalg überzogen sind. Sie werden durch Schrauben an den Taffent gedrückt, und berühren ihn immer nur in einer Linie. Mitten durch den leeren Zwischenraum beider Taffentflächen geht der Conductor, der 6 bis 7″ im Durchmesser hat, über die Ränder des Taffents an beiden Seiten beträchtlich hervorragt, und in seidenen Schnüren vom Gestelle herabhängt. An den Stellen zwischen den Taffentflächen hat er Spitzen. So wird die erregte (negative) E. nicht von benachbarten Körpern geraubt, sondern häuft sich ganz in dem Conductor an. Die Arbeiter, welche drehen, stehen auf dem Gestelle und geben ihm durch ihr Gewicht einen festern Stand. Ein Jahr später als WALKIERS seine groſse Maschine ausgeführt hatte, verfertigte ROULAND eine von derselben Art, nur in etwas kleinerem Maſsstabe und mit einigen Abänderungen[3].

1 Lehre von der E. Th. I. S. 26.

2 S. Lichtenb. Magazin Bd. III. St. 1. S. 118.

3 Description des machines électriques à taffétas par M. Rouland. Amsterdam 1785. G. XXIII. 309.

In den Ständern CDEF auf einem Fuſsgestelle senkrecht aufgerichtet, sind zu oberst Löcher geschnitten, welche die Pfannen für die nicht völlig einen Zoll dicken buchsbaumenen Axen zweier leichter, von Brettern zusammengeleimter, und mit Serge überzogener, Cylinder enthalten. Diese Cylinder sind 27″ lang, haben 8″ im Durchmesser, und ihre beiden Endplatten ragen einen halben Zoll über sie hervor. Nur eine der Achsen ist mit einer 6 Zoll langen messingenen Kurbel versehen. Der gefirniſste Taffent KNL (von der Art, deren man sich zu den Aërostaten bedient) geht um beide Cylinder, ist an den Enden zusammengenäht und läſst sich durch Zurückschieben des einen Cylinders und seines Gestells so straff anziehen, daſs beide Cylinder umlaufen, wenn der eine vermittelst der Kurbel gedreht wird. Die Länge des Seidenzeugs beträgt 11 Fuſs oder 132″, die Breite 26″, also einen Zoll weniger, als die Länge der hölzernen Cylinder. Die Reiber sind wie an der Walkier'schen Maschine, durch seidene Fäden an die Ränder der Cylinder befestigt und durch Ketten v, v mit der Erde in leitende Verbindung gesetzt. Zwei Stücke gefirniſsten Wachstaffents p, q gehen von den Reibzeugen bis zum Leiter, nach Art des Wachstaffents bei den Glasmaschinen. Der erste Leiter S besteht aus Messingblech von gewöhnlicher cylindrischer Form, ist 3″ dick und 36″ lang, schwebt an seidenen Schnüren, welche an den Rändern der Cylinder befestiget sind, zwischen den beiden Ebenen des Taffents, und hat oben und unten nach seiner ganzen Länge ein senkrecht stehendes Blech y, y, welches als sogenannter Einsauger dient, und nur ½″ vom Seidenzeuge entfernt bleibt. Bohnenberger hat in der 2ten und 3ten Fortsetzung seiner Beschreibung einiger Elektrisirmaschinen und elektrischer Versuche gleichfalls Einrichtungen zur negativen Elektrisirung angegeben, die mit denen von Walkiers und Lichtenberg im Wesentlichen übereinkommen. Eine solche Trommel-Maschine[1] hat ein etwas einfacheres Gestell, wo an der Trommel nicht bloſs äuſserlich oben und unten, sondern auch inwendig Reiber von Katzenfell angebracht sind, damit das aufgespannte Zeug auf beiden Seiten gerieben, und zugleich das Runzeln desselben verhütet werde. Dem gefirniſsten Taffent gibt er den Vorzug vor dem Wollenrasch; Tamis oder andere geglättete Wollenzeuge Fig. 59.

1 3te Fortsetzung.

räth er nicht zu nehmen, da sie ihm zufolge nur schwache E. geben. Zum bequemen Gebrauch im Kleinen hat Ingenhouss[1] eine von ihm im Jahre 1780 erfundene Maschine beschrieben, die wenig Beschädigungen ausgesetzt ist und an der Wand aufgehangen werden kann. Sie besteht aus einem starken 8—9' breiten und 2½—3 Schuh langen Stück Seidenzeug, welches überfirnifst, am besten mit aufgelösetem Siegellack überzogen ist, und zwischen einer doppelten Kupferplatte mit Hirschhaut oder Katzenbalg überzogen gerieben wird. Diese Kupferplatte ist durch Glasstangen mit zwei messingenen Stäben verbunden, die einen Spalt zwischen sich lassen, durch den das Seidenzeug gleich nach der Reibung durchgeht, daher diese Stangen die E. annehmen und die Dienste eines ersten Leiters thun. Zur Anspannung befinden sich am obern und untern Ende des Seidenzeugs Leisten mit hölzernen Kugeln, durch die seidene Bänder gezogen werden, woran man das Ganze oben an einen Nagel hängen, und unten mit der Hand spannen kann. Mit der andern Hand wird eine cylindrisch gestaltete Leidner Flasche so angesetzt, dafs ihre äufsere Belegung die reibenden Platten, und ihre obere mit der innern Seite verbundene Haube die zum Leiter dienenden Stangen vermittelst angebrachter Stifte festhält Mit dieser Flasche fährt man nun auf und ab, und nimmt zugleich das Reibzeug und den Leiter mit sich. Dadurch wird die E. erregt und zugleich die Flasche geladen, die der Erfinder übrigens so eingerichtet hat, dafs man in ihr Alles zum Lichtanzünden durch den el. Entladungsschlag nöthige aufbewahren kann.

Durch diese Maschine ist Mundt[2] auf eine ähnliche, jedoch schon als eigentliche Elektrisirmaschine zu betrachtende Einrichtung geleitet, die bei dem geringen Preise (von höchstens 4 Thalern), um den sie angeschafft werden kann, dem geringen Raume, den sie einnimmt, und dem, was sie dennoch leistet, immerhin einige Beobachtung verdient und deren Beschreibung ich hier aufnehmen würde, wenn sie nicht mehr Raum erforderte, als viele Leser billigen dürften.

---

1 Vermischte Schriften 1784. Th. I. S. 145 ff.

2 Gren's Journal Bd. VII. S. 319.

III. Wirkungen der Elektrisirmaschinen und Vergleichung der verschiedenen Arten derselben in Rücksicht auf ihre Wirksamkeit.

Alle el. Erscheinungen, welche durch das Reiben eigenthümlich el. Körper hervorgebracht werden, zeigen sich durch Hülfe der Elektrisirmaschine im verstärkten Grade, und können durch die zweckmäfsige Einrichtung und Vergröfserung derselben aufserordentlich gesteigert werden. Jener eigenthümliche phosphorische Geruch verbreitet sich sehr bald, so wieman eine kräftige Maschine in Bewegung setzt, und es brechen nach allen Seiten ohne Unterlafs knisternde Funken in ganzen Büscheln aus denjenigen Theilen des Cylinders oder der Scheibe, die nicht mit dem Wachstaffent bedeckt sind, hervor. Wird der erste Leiter mit der Maschine in Verbindung gesetzt, so kann man sehr starke Funken aus ihm ziehen. Diese Funken variiren in Rücksicht auf Geschwindigkeit, mit der sie sich einander folgen, auf Länge, Dicke, Farbe und sonstiges Ansehen aufserordentlich nach Verschiedenheit der Gröfse und Bauart der Maschine, des Conductors, des Körpers, der den Funken auffängt, des Mediums, durch welchen der Funken schlägt u. s. w. wovon ich hier blofs dasjenige mittheilen werde, was sich auf den Bau der Elektrisirmaschine bezieht [1].

Es kommt aufser der Gröfse und Beschaffenheit der Elektrisirmaschine an und für sich vorzüglich die *Beschaffenheit des zweiten Leiters*, an welchem die E. angehäuft wird, und des Körpers, auf welchen der Funken überschlägt, in Betrachtung. So lange die E. nicht in irgend einem Puncte eine Dichtigkeit angenommen hat, um den Widerstand der Luft zu überwinden, wird der allmälige Verlust der E. vom Leiter aus, an welchem sie sich anhäuft, ein constanter seyn, wenn die auf dem zweiten, an den ersten gebrachten, Leiter verbreitete E. von derselben Intensität ist, welches auch die Gestalt seiner Oberfläche sey. Aber die *explosive Distanz*, auf welche diese zwei Leiter ihre Funken schlagen, wird nach Verschiedenheit ihrer Form sehr verschieden seyn, denn die Leichtigkeit der Explosion hängt von dem Drucke ab, welchen die E. auf die umgebende

---

1 Vergl. *Funken*.

Luft ausübt, und durch welchen sie dieselbe auf ihrem Wege entfernt. Dieser Druck ist proportional dem Quadrate der Dichtigkeit der el. Schicht; man muſs also solche Leiter nehmen, welche, wenn sie in Berührung mit dem ersten Leiter sind, sich mit einer el. Schicht bedecken, deren Dicke die gröſstmögliche sey, verglichen mit der Dicke der el. Schicht dieses ersten Leiters; und die Theorie übereinstimmend mit der Erfahrung lehrt, daſs Cylinder von groſser Länge und kleinem Durchmesser vorzüglich geschickt dazu sind. Darüber hat Coulomb sehr genaue elektrometrische Untersuchungen angestellt[1].

An einem isolirten Cylinder, der sich in Halbkugeln endigt, und auf welchem sich die E. ohne sonstigen äuſsern Einfluſs frei ins Gleichgewicht setzen kann, verhält sich nach Coulomb's genauen elektrometrischen Untersuchungen die Dicke der el. Schicht an den Enden zu derjenigen in der Mitte wie 2,30 : 1. Es muſs aber, wenn ein solcher Cylinder mit einem elektrisirten Leiter in Verbindung gesetzt wird, diese Dicke noch mehr an dem freien Ende zunehmen, weil die Repulsivkraft der E. des hinzugekommenen Leiters die E. noch mehr nach diesem freien Ende treibt. Da ferner an einem Cylinder, dessen Durchmesser nur 1‴ beträgt, bei der Berührung einer elektrisirten Kugel von 4″ die el. Dichtigkeit im Durchschnitte 9mal so groſs ist, als die der Kugel, so ist sie am freien Ende wenigstens $9 \times 2,3$ so groſs, und da die Pressionen gegen die Luft sich wie die Quadrate der Dichtigkeit verhalten, so begreift man auch, wie es aus solchen Cylindern so leicht zum Ausströmen kommt. Die cylindrischen Leiter geben daher stets die längsten Funken an ihren Enden, die kürzesten in ihrer Mitte, und die Länge der Funken wird noch sehr vergröſsert, wenn in den gröſseren Cylinder ein recht dünner, nicht über zwei Linien dicker, Draht hineingesteckt wird, der sich mit einer nicht zu kleinen Kugel endigt. Diese Einrichtung ist bei den Conductoren meiner Maschine, und derjenigen der holländischen Physiker befolgt, und bei den kugelförmigen Conductoren, wie sie an der van Marum'schen verbesserten Scheibenmaschine angebracht sind, wird eine gröſsere Länge des Funkens nur dadurch erhalten, daſs in die Mitte der von der Scheibe abgewandten Hälfte der Kugel ein dünner cylindrischer

---

1 Biot Traité de Physique etc. II. 315 ff.

Draht gesteckt ist, der sich in eine kleinere Kugel endigt. Aufser diesem Momente der Gestalt des ersten und zweiten Leiters kommt es noch in Ansehung der durch eine Elektrisirmaschine hervorzubringenden Wirkungen und besonders der Stärke und Länge des Funkens vorzüglich auf die Gröfse und die von dieser Gröfse so wie zugleich von der Gestalt des Leiters abhängige Capacität desselben für die E. an. Es versteht sich nämlich von selbst, dafs bei einer ausgedehnteren Gröfse des Leiters ein gröfserer Vorrath von E. angehäuft werden kann, der sich dann auch in verhältnifsmäfsig dickern und stärkern Funken entladen läfst, welche dann wiederum im Verhältnifs der gröfseren Menge von E., die in ihnen hervorbricht, stärkere Wirkungen hervorbringen werden. Indefs läfst sich durch die Vergröfserung eines mit dem ersten Leiter verbundenen zweiten Leiters die Wirkung der Elektrisirmaschine nicht ins Unbestimmte verstärken, da mit der Ausdehnung des Leiters sich auch die Berührungspuncte mit der Luft vermehren, womit eine verhältnifsmäfsig wachsende allmälige Zerstreuung der E. verknüpft ist, abgesehen davon, dafs auf einer sehr ausgedehnten Oberfläche sich leicht da und dort Spitzen und dergleichen Unebenheiten einfinden können, durch welche eine solche Zerstreuung der E. noch besonders begünstigt wird. Jede Elektrisirmaschine wird also nur ein gewisses Maximum der Vergröfserung ihres Leiters zulassen, über welches hinaus die Wirkung wieder abnimmt, und dieses Maximum wird um so weiter hinausfallen, je wirksamer die Elektrisirmaschine an und für sich ist. So bemerkt z. B. Grimm, dafs als an den bereits schon eine beträchtliche Ausdehnung habenden Conductor einer übrigens 5 Fufs im Durchmesser haltenden Scheibenmaschine noch ein messingener Conductor gesetzt wurde, der einen rheinl. Fufs dick und 10 Fufs 2 Zoll lang war, die Maschine weniger als zuvor leistete[1]. Mit der Ausdehnung des Leiters werden dann auch die Funken gebenden Kugeln ihrer Gröfse nach im Verhältnisse stehen müssen, worüber für jede Maschine nur Versuche entscheiden können.

Bei der grofsen Teyler'schen Maschine ist die Funken gebende Kugel am Ende des grofsen, aus drei Hauptstücken bestehenden, cylindrischen Conductors von 23½ Quadratfufs Ober-

1 Gilb. Ann. IV. 361.

fläche nur 4zöllig, und der auffangende Leiter ist ein 22″ langer und 8″ im Durchmesser haltender Cylinder, der in 12zöllige Kugeln endigt. Bei trockener Witterung schlägt der Leiter gegen die auffangende Kugel 24″ lange Funken von der Dicke eines Federkiels 300mal in einer Minute, die sich schlängeln, und an den Krümmungen 6″ bis 8″ lange Strahlen schiefsen lassen. Ueber die Fläche eines schlechten Leiters geführt, wird der Funken 6 Fufs lang. Gegen äufserst scharfe stählerne Spitzen entstehen noch Funken von ½″. Die Lichtbüschel am Ende des ersten Leiters verbreiten sich ringsum auf 16″. Ein isolirter 207 Fufs langer Draht am Leiter ward in seiner ganzen Länge bei jedem Funken erleuchtet, und schofs überall Lichtbüschel von 1″ aus. Der negative Funken dieser Maschine steht indefs wegen der unvollkommenen Isolirung der Reibkissen in keinem rechten Verhältnisse mit ihrer sonstigen Wirksamkeit, da er nur 10 bis höchstens 11 Zoll beträgt. Schiefspulver, Zunder, Zündschwamm, Terpentin- und Olivenöl wurden entzündet und Streifen Goldblättchen 1,5 Lin. breit und 20″ lang geschmolzen. Ein 6 Fufs langer leinener Faden 38 Fufs weit vom Conductor wurde unten 6 Zoll weit von der senkrechten Lage abgezogen. Die Luft ward so stark elektrisirt, dafs die Kugeln am Cavallo'schen Elektrometer 40 Fufs weit von der Maschine schon um ½ aus einander gingen.

Die von Cuthbertson für die holländischen Physiker Deimann und Paets v. Troostwyk verfertigte, oben beschriebene, Maschine stand wenigstens nach einigen dieser Proben der Stärke der grofsen Teyler'schen nicht sehr viel nach, ungeachtet die beiden Scheiben mehr als noch einmal so klein waren, nämlich 31 englische Zolle im Durchmesser hielten, wovon der Grund ohne Zweifel in der vollkommeneren Isolirung aller Theile dieser Maschine lag. Um die stärksten Funken zu erhalten, wurde an die letzte Kugel, womit der grofse Leiter sich endigte, in der Entfernung von 0,5 Zoll durch einen Stift eine kleinere Kugel von 2″ Durchmesser aufgesteckt. Die Funkenlänge betrug dann gewöhnlich 11,5 Zoll, wenn der Funken mit einer zweiten Kugel von 5″ Durchmesser hervorgelockt wurde, bisweilen war er einen halben Zoll kürzer, oft auch einen Zoll länger. Er bewegte sich im Zickzack, und war, die Gröfse ausgenommen, dem der Teyler'schen Maschine ähnlich. Seine Dicke betrug ⅛ Zoll, und es schossen aus ihm häufige

Seitenstrahlen von 2 bis 4" Länge. In Rücksicht auf diese Wirkungen ist also diese Maschine ungefähr halb so stark, als die Teyler'sche, ungeachtet ihre Oberfläche mehr als 4mal so klein ist. Der negative Funke hatte die gröſste Länge, wenn er aus einer Kugel von ¾ Zoll auf eine zwölfzöllige überging. Seine Länge betrug dann 8,5, bis höchstens 9 Zoll. In dieser Rücksicht leistete also diese Maschine verhältniſsmäſsig weit mehr als die Teyler'sche, was von der viel vollkommeneren Isolirung ihrer Reibzeuge abhing. Auf einem überfirniſsten und mit Messingfeile bestreuten Brette konnte man die Funkenweite bis auf 12 Fuſs und wohl noch weiter treiben, wenn das Brett länger genommen wurde. Auſser dem Hauptstrahle selbst, der längs den Feilspähnen von der funkenschlagenden Kugel zu der gröſsern Auffangkugel in einer Menge Krümmungen überging, fuhr noch eine groſse Anzahl anderer Strahlen aus jenen aus, und diese theilten sich wieder in eine Menge kleinerer, so daſs die ganze bestreute Fläche mit Strahlen bedeckt wurde, die im Dunkeln eine artige Mischung von gelbem und grünem Lichte darstellen. Bei der negativen E. betrug die Funkenweite auf diese Art nur 6 Fuſs. Auf sehr feine Stahlspitzen, die 2" über die Kugel hervorstanden, schlug der Funken aus dem positiven Leiter ⅜ Zoll, gegen die an der Endkugel des negativen Leiters selbst angebrachte Spitze aber von der genäherten Kugel aus einer Entfernung von ⅛". Die Feuerstrahlen aus dem positiven Leiter waren 4,5 Zoll lang, wenn die Spitze 3 Zoll, 7,5 Zoll lang, wenn die Spitze 2 Zoll über die Kugel am Leiter hervorstand. Dem negativen Conductor wurde die Spitze gegenüber gestellt, und die Strahlen waren in allen Fällen 6,5 Zoll lang, die Spitze mochte 2 oder 3 Zoll über ihre Kugel hervorragen. Lichtbüschel aus Kugeln entstanden durch positive und negative E., bei jener, wenn man eine zweizöllige Kugel ¾ Zoll weit von der groſsen Kugel des Conductors ansteckte, bei dieser, wenn man einer 12zölligen Kugel eine von ¼ Zoll gegenüber hielt, die mit dem ableitenden Drahte in Verbindung stand. Die positiven Büschel waren 9—10 Zoll, die negativen nur 2 Zoll lang und breit, und beide unterschieden sich von einander nur durch die Gröſse. Die Erschütterung welche der positive Funken gab, wann er mit einer groſsen Kugel in der Hand ausgezogen, und zugleich der leitende Draht mit den Füſsen berührt wurde, war so heftig, daſs genaue Beobachter sie eben so groſs schätzten, als

diejenige, die man von einer bei einer gewöhnlichen Elektrisirmaschine geladenen Leidner Flasche von einem Quadratfuſs Belegung erhält. Die Menge der E., welche der Conductor auf dem Maximum von Ladung unter den günstigsten Umständen in einem einfachen Funken mittheilte, wurde so groſs gefunden, als diejenige, welche erfordert wird, um eine Flasche von einem Quadratfuſs Belegung bis auf den vierten Theil der stärksten Ladung, die sie noch annehmen kann, zu laden. Daſs indeſs diese Bestimmungsart nur einen unsichern Maſsstab abgeben kann, leuchtet ein, wenn man bedenkt, daſs die Stärke der Ladung einer Flasche nicht bloſs von der Gröſse ihrer Belegung, sondern auch von der Dicke des Glases, der Gröſse des unbelegten Randes und andern Zufälligkeiten mit abhängt. Indeſs giebt die Menge der Umdrehungen, welche bei verschiedenen Elektrisirmaschinen erforderlich sind, um dieselbe Flasche oder Batterie von bestimmter Gröſse der Belegung auf denselben Grad zu laden, doch immer den sichersten Maſsstab zur Vergleichung der Wirksamkeit verschiedener Elektrisirmaschinen, oder der Menge der el. Materie, welche sich durch ihre Reibung entwickelt, da die Länge, Dicke und Wirksamkeit des einfachen Funkens, so wie die Länge und Breite der Feuerbüschel von andern Umständen mit abhängen, nämlich von der Gröſse und Gestalt des Conductors, der Funken gebenden Kugel, der auffangenden Kugel u. d. g. Nach jenem Maſsstabe verglich namentlich van Marum die Wirksamkeit seiner neu eingerichteten Elektrisirmaschine mit derjenigen der groſsen Teyler'schen[1] und constatirte dadurch den auſserordentlichen Vorzug der neuen Einrichtung vor der ältern. Eine Batterie von 90 Flaschen, deren jede über einen Quadratfuſs belegter Fläche enthielt, wurde durch 150 Umdrehungen der verbesserten Scheibenmaschine mit einer einfachen Scheibe von 31″ im höchsten Grade geladen, so daſs sie sich von selbst entlud. Die groſse Teyler'sche Maschine mit zwei Scheiben von 65 engl. Zollen, lud bei ihrer alten Einrichtung, ehe van Marum sie verbessert hatte, dieselbe Batterie selbst unter den vortheilhaftesten Umständen nie mit weniger als 66 Umdrehungen. Die kleine Scheibe leistete folglich $\frac{4}{9}$ und bei günstigen Umständen gewiſs $\frac{1}{2}$ so viel als die groſse Teyler'sche Maschine bei ihrer ersten

1 Vergl. Gilb. Annalen XXIII. 304.

Einrichtung. Da die Kissen der kleinen Scheibenmaschine 9″, die der grofsen 15½″ lang sind, so beträgt die Glasfläche, welche jedes Kissen bei einmaliger Umdrehung reibt, bei der kleinen 622, bei der grofsen 2410,1 Quadratzoll, die 4 Kissen jener reiben folglich bei jeder Umdrehung 2488, die acht Kissen dieser 19283 Quadratzoll. Da nun jene 150, diese 66 Umdrehungen bedurfte, um dieselbe Batterie bis zum Ueberspringen zu laden, und die Intensität der el. Kraft zweier Maschinen der Zahl der Umdrehungen und der Gröfse der geriebenen Fläche bei Bewirkung desselben Effects umgekehrt proportional ist, so verhielt sich die Intensität der el. Kraft der kleinen Maschine zu derjenigen der Teyler'schen nach der alten Einrichtung, wie $66 \times 19283 : 150 \times 2488$ oder ungefähr wie 3,5 : 1. Diese Bestimmung der Intensität der Erregung kann auch aus dem Verhältnisse der geriebenen und der geladenen Glasfläche abgeleitet werden, indem man aus der Zahl der Umdrehungen, der Gröfse der geriebenen Glasfläche, und der Gröfse der Batterie, die dadurch zum Maximum geladen worden ist, die Menge von geriebenen Quadratzollen oder Quadratschuhen berechnet, die erfordert werden, um einen Quadratzoll oder Quadratfufs belegter Fläche bis zum Maximum zu laden, wo denn diese Menge bei der grofsen Teyler'schen Maschine 98, bei der kleinen 28 Quadratzoll beträgt, um einen Quadratzoll gleich stark zu laden.

Die Einrichtung, welche meine grofse Scheibenmaschine besitzt, macht sie allerdings nicht so brauchbar zur Ladung von Batterien, weil die Gröfse der in einer Umdrehung geriebenen Glasfläche noch einmal so gering ist, als wenn die van Marum'sche Einrichtung mit vier Reibkissen befolgt wäre, dagegen gestattet sie die gröfstmögliche Anhäufung der E. am Conductor, wegen des gröfseren Abstandes der Reibzeuge vom Conductor, indem bei geringerer Entfernung die Entladung längs dem Glase hin nach dem Reibkissen eher eintritt, als das freiwillige Ausströmen der E. in die Luft, welches in allen Fällen die Grenze der Anhäufung bestimmt. Bei recht günstiger Witterung beträgt die, in gerader Richtung gemessene, Länge des positiven geschlängelten Funkens, welcher von der Kugel von 4″ 3‴ auf die grofse Auffangkugel von 8″ überschlägt, 18 Pariser Zoll, seine Dicke die einer dünnen Schreibfeder, und aus den Seiten fahren in der Richtung nach der Auffangkugel an mehreren Stellen Strahlen von ansehnlicher Länge. Bei noch gröfserer

Entfernung der Auffangkugel verwandelt sich der Funken in den schönsten Feuerbüschel, der sich von einem dicken kurzen Stamme bis zu einer Breite von 14″ und einer Länge von 16″ ausbreitet. Wird die kleinere Kugel von 2″ im Durchmesser der grofsen Auffangkugel gegenübergestellt, so erreicht der Funken höchstens eine Länge von 14 Zoll und verwandelt sich bei gröfserer Entfernung bereits in einen Feuerbüschel. Der Funken verursacht, wenn man mit den Füfsen auf dem nach dem Erdboden ableitenden Drahte steht, eine Erschütterung, die derjenigen einer kleinen Kleists'chen Flasche sehr nahe kommt, und durch eine Reihe von zwanzig und mehreren Personen, die sich mit den Händen anfassen, sehr fühlbar ist. Der negative Funken ist ungeachtet der so vollkommenen Isolirung des Reibzeugs doch viel kürzer, und erreicht unter den günstigsten Umständen nur eine Länge von 6 bis 7″, ist nicht geschlängelt, hat aber gleichfalls seine gröfste Länge, wenn er von einer Kugel von 4″ auf jene grofse Auffangkugel überschlägt, welches mir einen ganz entscheidenden Beweis zu geben scheint, dafs eben so gut am negativen Conductor etwas Reales durch Repulsivkraft Thätiges existirt, wie am positiven, weil, wenn in Beziehung auf den negativen Conductor die ganze Thätigkeit von dem gegenüberstehenden (durch sogenannte Vertheilung positiv gewordenen) Conductor ausginge, die längsten Funken erhalten werden mufsten, wenn der negative Conductor mit einer 8zölligen Kugel endigte, und ihm gegenüber eine vierzöllige stände. Für das Gemeingefühl ist dieser negative Funken unangenehmer, wenn gleich nicht so erschütternd, wie der positive. Mir ist keine Maschine bekannt, die im Verhältnifs ihrer Gröfse einen eben so grofsen und energischen Funken lieferte, wie die meinige. Dafs die Teyler'sche und die oben beschriebene Cuthbertsonsche in dieser Rücksicht ihr weit nachstehen, erhellet aus der Vergleichung mit den von diesen beiden Maschinen angeführten Wirkungen, auch die gröfste in Deutschland befindliche Maschine, von welcher Grimm[1] eine kurze Beschreibung geliefert hat, dem Prinzen Heinrich von Würtemberg gehörig und von dem Mechanicus Klingert in Breslau verfertigt, steht, wenn man auf ihre Gröfse Rücksicht nimmt, der meinigen bedeutend nach; denn bei einem Durch-

1 Gilb. Annalen IV. 359.

messer ihrer einfachen Scheibe von 5 vollen rheinländischen Schuhen, einer Länge jedes Reibkissens von 1′2″ und einer Breite von 3″,25 und einem Conductor, der denjenigen meiner Maschine wenigstens um das Fünffache übertrifft, gab sie doch keine längere Funken als von 18—20 Zoll von der Dicke eines mittelmäfsigen Federkiels. Das grofse Uebergewicht meiner Scheibenmaschine ist um so bemerkenswerther, da nach früheren Versuchen von van Marum[1] bei Vergleichung der grofsen Teyler'schen Maschine mit einer andern von völlig gleicher Einrichtung, deren Scheiben aber kleiner waren, die Stärke beider nicht im Verhältnisse der Gröfse ihrer Scheiben, sondern in einem merklich gröfseren fortschreitend sich zeigte.

Dieses Zunehmen der Wirksamkeit in einem höheren als blofs dem einfachen Verhältnisse der Vergröfserung der Scheiben und die so weit getriebene Vervollkommnung ihrer Einrichtung hat den Scheibenmaschinen allmälig den Vorzug vor den Cylindermaschinen verschafft. Zur Würdigung der Stärke dieser letzteren theilte Nicholson, der, wie wir oben gesehen, sich vorzügliche Verdienste um ihre Verbesserung erworben, ähnliche Bestimmungen mit, wie sie bei den Scheibenmaschinen angewandt wurden. Mit einem im Durchmesser zwölfzölligen Cylinder und einem Reibzeuge von 7,5 Zoll gab eine 5zöllige Kugel häufige Blitze aufwärts von 14″ Länge, der 7zöllige Cylinder gab 10″,75 lange Funken, der Conductor des neunzölligen, dessen isolirender Fufs nicht hoch genug war, schlug gegen den Tisch Funken in einer Entfernung von 14″. Eine Leidner Flasche von 350 Quadratzoll oder fast 2,5 Quadratfufs Belegung, wurde bis zur freiwilligen Explosion geladen. Die Anzahl der Quadratfufse von der Oberfläche des Cylinders, welche gerieben werden mufste, um diese Ladung von einem Quadratfufse hervorzubringen, war nach diesem Versuche (nach der Anzahl der Umdrehungen und der Gröfse der reibenden Fläche des Reibkissens berechnet) zum wenigsten 18,03 und höchstens 19,34. Lichtenberg bemerkte damals[2], nach diesen Bestimmungen leiste ein gläserner Cylinder von 9″ Durchmesser mit einem Reiber von 7″,5 in der Länge gerade soviel, als van

1 S. dessen Beschreibung u. s. w. Erste Fortsetzung. Leipz. 1786.

2 Erxleben's Anfangsgründe der Naturlehre 6te Auflage 1794. Anm. zu §. 50.

Marums eigene Maschine aus zwei Scheiben von 33 Zollen, die doch fast 30mal soviel koste. Aber dieser Vorzug der Cylindermaschine verschwand allmälig, so wie die Scheibenmaschinen mehr und mehr vervollkommnet wurden. Nicholson selbst stellte später eine neue Vergleichung der Cylinder- und Scheibenmaschinen in Hinsicht auf ihre Wirksamkeit an, welche zum Vortheil der Letztern ausfiel[1]. Er glaubte nämlich aus einigen Umständen schliefsen zu können, dafs die el. Materie in einem geladenen Conductor durch unregelmäfsiges Zuströmen aus dem Cylinder in einen Zustand von Undulation versetzt werden könne, in welchem sie schneller entweicht, als wenn sie in einem mehr stetigen und regelmäfsigen Strome zugeführt wird. Wenn z. B. der Cylinder keine ganz regelmäfsige Figur hat, so drückt das Kissen an einer Seite desselben stärker als an der andern, und diese Unregelmäfsigkeit könnte noch durch andere Ursachen vermehrt werden. Diese Unregelmäfsigkeiten im Zuströmen liegen bei Cylindern mit blofsen Kurbeln weiter aus einander, als bei Cylindern mit Rädern; bei Scheibenmaschinen fehlen sie vielleicht ganz.

Die Wirkungen solcher Undulationen lassen sich, meint Nicholson nach verschiedenen Thatsachen beurtheilen: a. Ein dünner Draht, der von einer isolirten Kugel nach der Erde herabgeht, wird durch Funken positiver E., welche man auf die Kugel schlagen läfst, in seiner ganzen Länge leuchtend, während die E. durch ihn unsichtbar in den Boden strömt, wenn man die Kugel in Berührung mit dem Conductor bringt. (Der Grund dieses Unterschiedes liegt offenbar nur darin, dafs in dem zweiten Falle die E. nie eine solche Intensität erlangt, um nicht an dem Drahte vollkommen abgeleitet zu werden.) b. Eine isolirte Metallröhre an beiden Enden mit Kugeln von solcher Gröfse versehen, dafs, wenn die eine mit dem Conductor in Berührung gesetzt wird, aus der andern kein Lichtpinsel ausströmt, zeigt, wenn sie abgerückt wird, bei jedem Funken, der auf die erste Kugel fällt, einen ausströmenden Lichtpinsel an der zweiten, obschon sie in diesem Falle sicher nicht stärker als im ersten elektrisirt wird. (Hierbei kommt aber das Moment der Zeit mit in Betrachtung, da im ersten Falle die Kugel nicht in einem Augenblicke die ganze Menge von E. erhält, wie im zweiten

1 S. Gilb. XXIII. S. 300.

durch den Funken eines vorher nur erst nach einiger, wenn gleich nur sehr kurzen Zeit, auf das Maximum geladenen Conductors.) c. Eine messingene Kugel von 4″ Durchmesser, die durch einen 6″ langen Metallstab mit dem hinteren Ende des positiven Conductors verbunden war, liefs nur von Zeit zu Zeit einen Lichtpinsel ausströmen; als aber der Metallstab mit einem eben so langen Stabe aus Fichtenholz vertauscht wurde, strömten aus der Kugel unaufhörlich Lichtbüschel aus. d. Ein spitzer Draht wurde auf dem ersten Leiter einer Nairne'schen Cylindermaschine mit der Spitze aufwärts befestigt, und mit einer reinen Florentiner Flasche bedeckt, so dafs sich die Spitze in der Mitte der Flasche befand. Bei jedem positiven Funken, den man aus dem Conductor zog, zeigte sich an der Spitze das negativ el. Licht. Wurde dagegen der Versuch am negativen Conductor angestellt, so zeigte die Spitze bei jedem Funken das positiv el. Licht, so dafs die Lichtbüschel mit ihren Ramificationen das ganze Glas füllten. Es sey wahrscheinlich, meint Nicholson, dafs in diesen Versuchen das Entweichen an den Spitzen durch Undulationen veranlafst worden sey. (Gilbert meint, dieser Erfolg sey von dem Stande der Spitze auf dem Conductor und von der Vertheilung der E. in dem Conductor durch Annäherung des Funkenlockers abhängig; indefs ist diese scheinbare Umdrehung der E. des Conductors leicht daraus erklärlich, dafs durch die Spitzen jedesmal die Luft in den Flaschen, und selbst die innere Glaswand in einen mit dem Conductor gleichartigen el. Zustand versetzt wurde, der jedesmal, so wie der Conductor durch Abgeben eines Funkens seine angehäufte E. verlor, und augenblicklich wenigstens relativ auf 0 E zurückgebracht wurde, in diesem Conductor und zwar insbesondere in der zunächst gelegenen Spitze einen entgegengesetzt el. Zustand, der sich durch die entsprechende Beschaffenheit des Feuerpinsels charakterisirte, hervorbringen mufste.)

Aus einer von Nicholson mit seiner Cylindermaschine in Ansehung der Schnelligkeit der Ladung mit der kleinen van Marum'schen verbesserten Scheibenmaschine von 32″ angestellten Vergleichung, und weil es ihm wahrscheinlich ist, dafs wegen der nicht eintretenden Undulationen eine Scheibe Flaschen und Batterien stärker lade, bevor sie sich von selbst entladen, als Cylinder, und weil endlich Scheiben eine gröfsere reibende Fläche darbieten, schliefst Nicholson, dafs die van Marum'sche

kleine Scheibenmaschine der stärksten Cylindermaschine, die je ausgeführt worden, an stetiger Intensität der Erregung zum mindesten gleich sey, und daſs sie sie an Kraft zur Ladung weit übertreffe.

Noch mehr ist aber die Streitfrage, welcher von beiden Arten von Maschinen der Vorzug einzuräumen sey, durch CUTHBERTSON's und SINGER's Versuche[1] ins Reine gebracht worden. Beide gaben sich vorzüglich Mühe, alle Umstände so ähnlich als möglich zu machen, um sichere Resultate zu erhalten. Zu diesen Versuchen gebrauchten sie einen Cylinder von 14 engl. Zoll Durchmesser mit Würtel, Rad und Schnur, wodurch die Geschwindigkeit gegen die Drehung durch die Kurbel vervielfacht wurde, und eine Scheibe von 24 engl. Zoll Durchmesser, welche sie mit einer Kurbel, wie gewöhnlich dreheten. Beide Maschinen waren von einem und demselben Künstler mit gleicher Sorgfalt gearbeitet. Nach mehreren Veränderungen in der Gröſse und Lage der Endkugeln gelang es endlich so ziemlich gleichförmige Resultate zu erhalten. Das mittlere Resultat aus 100 verglichenen Versuchen war, daſs diese beiden Maschinen eine ganz gleiche Kraft in Hervorbringung el. Ladung besaſsen. Zur Schätzung der el. Kraft wurde eine und dieselbe belegte Glasfläche geladen, und diese Ladung durch CUTHBERTSON's Elektrometer und durch die Länge von Draht von gegebener Dicke, welcher durch die Entladung geschmolzen wurde, gemessen. Am entscheidendsten erhellete die gleiche Stärke beider Maschinen in Erregung von E. durch den Versuch, daſs beide Maschinen zugleich in Bewegung gesetzt, um eine Batterie zu laden, genau mit der Hälfte der Umdrehungen dasselbe als jede einzelne bei der vortheilhaftesten Wirkung leisteten. Die gröſste Weite, bis zu welcher die Scheibenmaschine Funken von ihrem Hauptconductor auf eine Kugel von 2″ schlug, war 6″,5, die Cylindermaschine gab bei Anwendung derselben Kugel Funken von 8″,5, und mit gröſseren Kugeln lieſs sich der Funken bis auf eine Weite von 12″ treiben. Es ist indeſs zu bemerken, daſs jene Gleichheit der Wirkung beider Maschinen in Ladung von Batterien ganz wegfällt und das Uebergewicht auf Seiten der Scheibenmaschine sich findet, wenn berücksichtigt wird,

1 Nicholson Journ. of natural Philosophy 1811. übers. XXXIX. 241.

dafs jede Umdrehung des Rades an der Cylindermaschine vier Umdrehungen desselben in sich begriff; als daher Singer den Cylinder bei unverminderter Reibung durch eine Kurbel drehen liefs, bedurfte es der vierfachen Menge von Umdrehungen wie zuvor, um dieselbe Wirkung hervorzubringen. Auch bewies ein analoger Versuch mit der Scheibenmaschine, dafs die Menge der erregten E. und damit die Schnelligkeit der Ladung lediglich durch die Menge der Umdrehungen bestimmt wurde und dafs daher die Wirkung jeder Elektrisirmaschine durch die Beschleunigung der Umdrehung sehr verstärkt werden könne. Es wurde nämlich Rolle und Rad an die Scheibenmaschine angebracht, und es erfolgte die Entladung derselben Batterie bei derselben Belastung des Cuthbertson'schen Elektrometers mit 15 Gran: mit einer blofsen Kurbel nach 75 Umdrehungen; mit Rolle und Rad, welches die

Geschwindigkeit verzweifachte nach 42 —
— verdreifachte nach 28 —
— vervierfachte nach 19 —

Nach dieser Vergleichung räumt nun Singer mit Recht den Scheibenmaschinen einen entschiedenen Vorzug vor den Cylindermaschinen ein und zwar bestehen ihre Vorzüge darin, dafs sie 1. minder kostbar als die Cylindermaschinen von gleicher Stärke sind; 2. dafs sie weniger Raum einnehmen; 3. dafs sie sich in viel gröfseren Dimensionen verfertigen lassen; 4. dafs es leichter ist, mehrere Scheiben als mehrere Cylinder in einen Apparat zu vereinigen; 5. dafs sich bei ihnen die Geschwindigkeit viel besser als bei den Cylindern vervielfachen läfst, ohne dafs die Bewegung zu schnell wird; 6. dafs sich mit Scheiben von gleichem Durchmesser und einerlei Glasart gleiche und ähnliche Wirkungen erhalten lassen, während zwei vollkommen gleich wirksame Cylindermaschinen wohl kaum darzustellen sind. Die zwei Vorzüge, welche Singer den Cylindermaschinen vor den Scheibenmaschinen noch einräumt, dafs sie vollkommen isolirt werden können, und eben darum die positive und negative Wirkung in gleicher Stärke zu geben im Stande seyen, fallen weg, sobald man die van Marum'sche oder die von mir beschriebene Einrichtung befolgt.

Dafs die negative E. aller Glas-Elektrisirmaschinen in Ansehung der Länge und Dicke des Funkens schwächer als die positive ausfällt, und selbst durch die stärkste bis jetzt gebaute

Maschine, die Haarlemer keine längere Funken als von 11″ haben erregt werden können, ist bereits bemerkt worden. In dieser Hinsicht werden diese Maschinen durch die oben beschriebenen von Walkiers merklich übertroffen. Die Commissarien der *Pariser Akademie*[1], welche diese Maschine prüften, zogen aus dem Conductor mit einer großen Kugel 15 bis 17 Zoll lange sehr schallende und dicke Funken, die unausstehlich schmerzhaft waren, wenn sie mit bloßer Hand aufgefangen wurden, aus Spitzen sprangen merkbar Funken nach dem Leiter über, und eine Batterie von 50 Quadratfuß Belegung wurde bei 30 Umdrehungen der Maschine geladen, welche 19 Quadratfuß geriebene Fläche des Seidenzeugs auf die Ladung eines Quadratfußes belegten Glases geben würde, in welcher Hinsicht demnach diese Machine der großen Nicholsonschen Cylindermaschine vollkommen gleich kommt.

Was die oben beschriebene Glasglocken-Maschine betrifft, so sollte man nach den Wirkungen, welche Wolfram von der einzigen bis jetzt ausgeführten beschreibt, diese Gattung den wirksamsten beizählen. Es schlägt nämlich jene Maschine, deren Glocke mit Einschluß des Halses nur eine Höhe von 20″ und einen Durchmesser von 12″ hat, unter günstigen Umständen
Fig. 51. aus l auf die Kugel n des Funkenmessers 10″ lange Funken von der Dicke eines Strohhalms, 7—8 zöllige schneller, als man zählen kann. Der Lichtbüschel ist 6—7 Zoll lang, und breitet sich unter einem Winkel von 60—70 Graden nach allen Seiten aus, eine Flasche von einem Quadratfuß äußerer Belegung wird bei 8maliger Umdrehung der Kurbel bis zum Ueberschlagen geladen. Einen besonders auffallenden Beweis der starken Elektricitätserregung durch diese Maschine gab aber der Versuch, daß aus dem tiefer liegenden Theile einer Regenröhre, welche durch einen Draht mit dem Reibzeuge verbunden war, bei jeder Entladung des positiven Conductors schwache Funken erhalten werden konnten. Bei alle dem zweifle ich doch sehr, daß diese Glockenmaschinen in Gebrauch kommen werden, da es sehr schwer halten dürfte, sich so regelmäßig cylindrische Glocken zu verschaffen, daß sie nicht in ihrem Umdrehen bedeutend schwanken, was ihre Beschädigung nur zu leicht veranlassen kann, auch ist nicht zu übersehen, daß die Isolirung der

1 S. Mém. de Paris 1784 und in Licht. Magazin a. a. O.

Maschine unvollkommen, und die Zerstreuung der E. nach der Fassung unvermeidlich ist.

Es ist schon oben bemerkt worden, dafs man die Wirkungen einer Elektrisirmaschine, die an und für sich nicht zu den gröfseren gehört, durch die Ausdehnung des Leiters und besonders durch eine solche Einrichtung desselben, wodurch seine Capacität für E. vermehrt wird, ungemein verstärken, und die einfachen Funken dem erschütternden einer Ladungsflasche ganz gleich machen kann. Es ist in dem Artikel *Elektricität*, nachgewiesen worden, wie sehr die Capacität eines Leiters durch Verlängerung und verhältnifsmäfsige Verdünnung desselben vermehrt werden kann. Eine Verminderung des Durchmessers bis auf 6‴ veranlafst nach Volta's Versuchen noch kein eigentliches Ausströmen[1]. Volta verfertigte sich einen solchen Leiter von 12 hölzernen, mit Stanniol überzogenen Stäben von obigem Durchmesser, so dafs er bei 96 Fufs Länge nur 12 Quadratfufs Oberfläche hatte, sein Umfang also nicht gröfser als derjenige eines Leiters von 6 Fufs Länge und 8″ Durchmesser war. Die Capacität des ersteren war um soviel gröfser als die des letzteren, dafs 25 bis 30 Umdrehungen seiner Scheibenmaschine nöthig waren, um ersteren auf das Maximum zu laden, während letzterer schon durch 4—5 Umdrehungen darauf gebracht wurde. Diese grofse Länge des Conductors kann man auch in einem beschränkten Local dadurch erhalten, dafs man mehrere kurze Stäbe über einander hängt, jedoch dürfen sie nicht zu nahe seyn, sondern müssen drei bis vier Fufs von einander abstehen; denn stehen sie einander näher, so mindern sie wechselseitig ihre Capacität, indem sie ihre Spannung steigern. Volta gab jedem seiner Stäbe eine Länge von 8 Fufs, die in drei Vierecken geordnet und durch seidene Fäden aufgehängt, übrigens mit einander durch Stäbe von Messing verbunden waren. Die Capacität dieses so ausgedehnten Leiters fand Volta gleich der Capacität einer Flasche oder mäfsig dünnen Glasscheibe von 4 Quadratzoll Belegung. Er gab wirklich erschütternde Funken, die bis in die Brust gingen, besonders wenn man einen in einen Brunnen reichenden Eisendraht anfafste, um der grofsen Menge von E. hinlängliche Ableitung zu verschaffen. Der Pater Gordon verstärkte auf diese Art

1 S. Alex. Volta's Schriften übers. von Nasse 1ter Bd. 1803.

durch Anwendung eines 200 Ellen langen Eisendrahtes den Funken so sehr, daſs er Vögel damit tödtete, und WILSON entzündete mit Hülfe der auſserordentlichen Verlängerung des Leiters bis auf 12000 Fuſs durch den einfachen Funken einer mäſsig starken Elektrisirmaschine Schieſspulver, das sonst nur durch den Schlag einer Leidner Flasche oder durch den einfachen Funken der kräftigsten Maschine entzündet werden kann.

Indeſs nimmt mit der Stärke der Funken nicht auch zugleich ihre Länge zu, die mehr von der Stärke der Spannung und Dichtigkeit der E. an dem Orte, wo der Funken hervorbricht, als von der totalen Menge der E. abhängt, auf welcher vorzüglich die sonstige Wirksamkeit des Funkens beruht. Die Funken, welche sehr lange aber dabei dünne Leiter geben, sind daher zwar sehr erschütternd, aber immer kürzer als die aus kurzen cylindrischen Leitern von gröſserem Durchmesser. So fand denn auch VAN MARUM[1] bei einem Leiter von 16 Fuſs Länge und 4″ Durchmesser die Funken um 5 Zoll kürzer als bei dem gewöhnlichen (oben beschriebenen) Conductor, doch schienen sie ihm mehr Stärke zu haben.

Bei der etwas stärkeren Elektrisirmaschine darf man, wenn man das Maximum von Wirkung erhalten will, nie unterlassen, eine Ableitung durch einen nicht zu dünnen Draht nach dem feuchten Erdboden anzubringen, mit welchem man, wenn man *positiv* elektrisiren will, die Reibkissen, beim *negativen* Elektrisiren den ersten Leiter in Verbindung setzt, um im ersten Falle der durch das Reiben erzeugten negativen E. der Reibkissen, im zweiten der am Conductor sich anhäufenden positiven E. einen hinlänglichen Abfluſs oder Zufluſs der entgegengesetzten E. zu verschaffen. Mit derselben Ableitung muſs auch der Leiter, auf dessen Kugel die Funken überschlagen, in Verbindung gesetzt werden, wenn man die möglich längsten Funken erhalten will. Eine wichtige Regel besteht ferner darin, die Scheibe oder den Cylinder von allem sich anhängenden Amalgama zu reinigen, das sich besonders an den Glasscheiben nach den concentrischen Ringen derselben, und bei den Cylindern an den kleinen Blättchen, die bei manchen derselben hie und da über die Oberfläche hervorragen, leicht anhängt, und zur Entladung des Conductors nach dem Reibkissen Veranlassung giebt.

---

1 Tweede Vervolg etc. Haarlem 1795.

Bei einer so kräftigen und im höchsten Grade el. Scheibe, wie der meinigen, schlagen ununterbrochen, wenn der Funkenzieher zu weit entfernt ist, in bogenförmiger Richtung Funken nach dem Reibkissen hin, die stets schon bei einer viel geringeren Entfernung sich einfinden, wenn die Scheibe mit Amalgama verunreinigt ist.

Das *Amalgama*[1] wird am besten mit etwas Schweineschmalz oder Cacaobutter auf das Leder des Reibkissens aufgetragen, und so gleichförmig als möglich zum metallisch glänzenden Ueberzuge in dasselbe eingerieben. Die Erneuerung desselben richtet sich nach dem mehr oder weniger häufigen Gebrauche, den man von der Maschine gemacht hat[2].

P.

Elektromagnetismus,

später von den Franzosen meistens *Elektrodynamismus* genannt, bezeichnet den Inbegriff derjenigen magnetischen Erscheinungen, welche durch die Elektricität hervorgebracht werden, oder die Wechselwirkung elektrisirter Körper und der Magnete auf einander. Der zuerst gewählte Ausdruck bezeich-

---

1 S. *Amalgama* Th. I. S. 286.

2 Ueber chemische Wirkungen der einfachen Funken und ihr Verhältniſs gegen verschiedene Medien u. s. w. S. *Funken, elektrischer*.

Auſser den Schriften, welche das Ganze der E. behandeln, namentlich Priestley's Geschichte der E., Donndorf's, Adam's, Cavallo's Werken über die E. u. s. w., verdienen über Elektrisirmaschinen noch besonders verglichen zu werden: Martin van Marum Abhandlung über das Elektrisiren, enthaltend die Beschreibung und Abbildung einer neu erfundenen Elektrisirmaschine u. s. w. Aus dem Holländischen von Möller. Gotha 1777. M. G. C. Bohnenberger's Beschreibung einer auf eine neue sehr bequeme Art eingerichteten Elektrisirmaschine Stuttgart 1784—1791. *Derselbe* Beschreibung einiger Elektrisirmachinen und elektrischer Versuche nebst sechs Fortsetzungen. Stuttgart 1783 —1791. Beschreibung einer Elektrisirmaschine und einiger damit von J. R. Deimann und A. Paets van Troostwyk angestellter Versuche herausgegeben von John Cuthbertson. Leipzig 1790. Martinus van Marum Tweede Vervolg der Proefnemingen etc. Haarlem 1795. (enthält die Beschreibung seiner verbesserten Elektrisirmaschine). Joh. Christ. Hoffmann praktische und gründliche Anleitung auf eine leichte und wohlfeile Art gute Elektrisirmaschinen zu bauen u. s. w. Leipzig 1798.

net die Sache genau und vollständig; der spätere, nämlich *dynamische Elektricität*, welcher von Ampère den Wirkungen der geschlossenen Volta'schen Säule beigelegt ist, um sie von denen der nicht geschlossenen, daher Funken gebenden, und denen einer gemeinen Elektrisirmaschine sich ähnlicher zeigenden, zu unterscheiden, als welchen er den Namen der *elektrostatischen* beilegt, hat in sich gar keinen empfehlenden Grund. Auch die Ausdrücke: *chemischer Magnetismus, Volta'scher Magnetismus* und *Galvanomagnetismus* bezeichnen die Sache ungleich schlechter.

I. Geschichte des Elektromagnetismus.

Seitdem die Anhänger der dynamischen Naturphilosophie sich bestrebten, die verschiedenen Naturerscheinungen nicht sowohl als Wirkungen individueller Substanzen anzusehen, sondern vielmehr das Materielle selbst als das Resultat gewisser Urkräfte darzustellen, mufste ihnen vorzüglich daran gelegen seyn, die unwägbaren Stoffe als unmittelbare, und nur unwesentlich modificirte, Aeufserungen einer einzigen Urkraft nachzuweisen. Licht, Wärme, Elektricität und Magnetismus fielen demnach ihrem Wesen nach in eins zusammen. Als insbesondere Alexander Volta in der nach ihm benannten elektrischen Säule die gelehrte Welt mit einem unschätzbaren Apparate beschenkte, welcher an seinen beiden Enden die zwei Elektricitäten bleibend erhielt, glaubte man in dieser die Pole eines Magnetes sichtbar dargestellt, und hielt die Identität der Elektricität und des Magnetismus für begründet, welche als ähnlich zu betrachten schon die frühere Bezeichnung von + und — M., ähnlich dem + und — E veranlafst hatte. Insbesondere war es J. W. Ritter[1], welcher den Satz aufstellte, jede Volta'sche Säule sey ein wirklicher Magnet, und müsse als solcher auch magnetische Polarität zeigen. Verschiedene Physiker zeigten zwar durch die Erfahrung, dafs eine solche Wirkungsart der Volta'schen Säule fremd sey, allein Ritter's hoher Schwung der Phantasie erhielt ihm eine Menge Anhänger und Verehrer, da es allerdings viel leichter ist zu phantasiren als zu philosophiren. Ich selbst habe in Verbindung mit Gruner in Hannover damals viele Mühe darauf verwandt, durch ungewöhnlich

1 Beiträge zum Galvanismus II. 55. Ann. de Chim. LXIV. 80.

starke magnetische Batterien eine der Volta'schen Säule ähnliche Wirkung hervorzubringen, oder ganz kleine und möglichst bewegliche Säulen durch jene zu afficiren, aber vergebens. Hätte man umgekehrt den Einfluſs groſser Säulen auf leicht bewegliche Magnetnadeln geprüft, so wäre die Wahrheit vielleicht früher aufgefunden. Daſs es übrigens unmittelbar vor der Auffindung des Elektromagnetismus noch Physiker gab, welche die durch Ritter behauptete Identität der Elektricität mit dem Magnetismus vertheidigten, beweiset unter andern die gegen das Ende des Jahres 1818 durch v. Yelin über diesen Satz gehaltene Rede[1], worin aber, auſser schwachen, wenn man wollte zwischen jedem beliebigen Paare gegebener Stoffe aufzufindenden, Analogieen kein genügender Beweis, auch keine neue Thatsache zur Unterstützung der aufgestellten Behauptung beigebracht ist. Man kann daher mit Wahrheit sagen, daſs man bis zu jener Zeit von einer Wechselwirkung beider Potenzen auf einander noch nicht mehr wuſste, als schon seit vielen Jahren bekannt war, nämlich daſs insbesondere Blitzschläge, aber auch starke elektrische Batteriefunken den Magnetismus im Stahle sowohl hervorzurufen, als auch zu zerstören, die Polarität zu erzeugen, und umzukehren vermögen[2], welches indeſs nach den entscheidenden Versuchen van Marum's für eine bloſse Wirkung des Stoſses und der Erschütterung durch Elektricität angesehen wurde[3]. Wenn endlich nicht sowohl Mojon aus Genf, als vielmehr Romanesi aus Trident zufällig elektromagnetische Erscheinungen wirklich beobachtet haben, so ist dennoch keineswegs einer von diesen als der Entdecker dieses wichtigen Zweiges der Naturlehre zu betrachten, weil sie die Neuheit und

---

1 Ueber Magnetismus und Elektricität als identische und Urkräfte. München 1818. 4. Genau genommen könnten wohl beide, wenn sie wirklich identisch wären, nicht Urkräfte, sondern nur *eine* Urkraft seyn.

2 Mehreres hierüber von Schweigger findet man in dessen Journ. N. R. XVI. 1. Beccaria leitete sogar schon den Magnetismus überhaupt, wie Ampère, von beständigen elektrischen Strömungen ab. S. Priestley Gesch. d. El. S. 221. Cigna in Misc. Taur. I. 43. redet gleichfalls von d. Aehnlichkeit der Elektricität und des Magnetismus.

3 Beschreibung einer vorzüglich groſsen Elektrisirmaschine u. s. w. Deutsche Uebers. Leipz. 1786.

Wichtigkeit des Fundes übersahen, und diesen also selbst nicht kannten und gehörig würdigten[1].

Aus demjenigen also, was bis dahin bekannt war, konnten unmöglich die später entdeckten Erscheinungen des Elektromagnetismus gefolgert werden, im Gegentheil ist vielmehr jetzt, nach so außerordentlich verfeinerten und vervollkommneten Meßwerkzeugen, so gut als erwiesen, daß die Volta'sche Säule weder selbst ein Magnet ist, noch auch daß ihre Pole magnetische sind. Dessen ungeachtet hielten allezeit noch einige Physiker fest an dem durch Thatsachen keineswegs begründeten Glauben, *Elektricität und Magnetismus seyen ihrem Wesen nach identisch*. Ein Anhänger dieser früher[2] von ihm ernstlich vertheidigten Meinung blieb auch später noch Oersted, und bemühete sich daher in seinen Vorlesungen einen Einfluß der Pole einer Volta'schen Säule auf die Pole der Magnetnadel darzuthun, welches aber stets vergeblich seyn mußte. Eine solche magnetische Polarität konnte die Säule nur zeigen, wenn ihre Pole nicht geschlossen oder wenn sie durch einen leitenden Verbindungsdraht geschlossen waren; daß aber der letztere selbst einen Einfluß auf die Magnetnadel äußern solle, konnte aus den damals herrschenden Ansichten nicht gefolgert werden, indem man sonst bei der erwiesenen Identität der Reibungs- und Berührungs-Elektricität auch dem Verbindungsdrahte beider Pole einer Leidner Flasche Polarität zugeschrieben hätte. Man muß es daher unter Voraussetzung einer consequenten Argumentation für einen Zufall erklären, welcher Oersted auf eine der wichtigsten Entdeckungen im Gebiete der Naturlehre führte, die aber nichts destoweniger seinen Namen unsterblich machen wird. Als nämlich im Winter 1819 auf 20 in seinen Vorlesungen ein feiner Platindraht, welcher beide Pole einer starken Volta'schen Säule verband, und dadurch glühend gemacht war, über eine Magnetnadel herging, zeigte diese eigenthümliche Schwankungen, und mußte in diesem ihrem Verhalten räthselhaft erscheinen, weil man nach den bestehenden Kenntnissen nur Anziehung oder Abstoßung derselben erwarten konnte. Wenn Oersted später[3] darzuthun

---

1 Traité sur le Galvanisme publié par le Prof. Aldini. à Par. 1804. S. 191. Vergl. G. LXVIII. 208.

2 Ansicht der chemischen Naturgesetze. Berlin 1812.

3 Schweigg. Journ. N. F. II. 199.

suchte, dafs das Bestreben, den Einfluſs beider Elektricitäten im Augenblicke ihrer Ausgleichung auf die Magnetnadel aufzufinden, ihn unmittelbar auf diese Entdeckung geführt habe, so kann hierbei nur von der magnetischen Polarität der Pole einer geschlossenen Säule die Rede seyn. Es scheint auch fast, als ob weder Oersted selbst, noch seine Zuhörer die Wichtigkeit der merkwürdigen Entdeckung sogleich in ihrem ganzen Umfange aufgefaſst haben, weil es sonst unerklärlich seyn würde, warum nicht früher etwas davon ins Publicum kam, als bis der Erfinder selbst sie etwa sechs Monate später in einer eigenen Schrift bekannt machte[1].

Als am Ende des Sommers 1820 die groſse Entdeckung hauptsächlich zuerst den Akademien und gelehrten Gesellschaften bekannt wurde, dauerte es noch einige Zeit, bis sie ganz eigentlich ins Publicum kam.

Hierzu lag die Veranlassung theils in der ursprünglichen, etwas schwerfälligen und verworrenen, Darstellung der Sache, hauptsächlich aber darin, daſs der Erfinder selbst und die ersten Physiker, welche die Versuche wiederholten, zum Gelingen derselben eine so starke Volta'sche Säule verlangten, daſs der Verbindungsdraht zum Glühen gebracht wurde. Auffallend bleibt es immer, warum Oersted in dem langen Zeitraume, von der ersten Entdeckung bis zum Erscheinen seiner Schrift, nicht auffand, daſs zwei nur mäſsig groſse Platten von Zink und Kupfer die Wirkung nicht bloſs gleichfalls, sondern sogar noch besser zeigen, als starke Volta'sche Säulen von vielen Platten. Die Forderung eines so mächtigen Apparates hielt manche Physiker ab, die Versuche zu wiederholen, einige zogen sogar die Sache in Zweifel, weil sie glaubten, daſs der starke elektrische Strom wohl gewisse Schwankungen der Nadel als eines leicht beweglichen Körpers erzeugt haben könne, die man fälschlich einem erregten Magnetismus beigemessen habe. Die ersten, welche die Sache selbst bestätigten, und die Aufmerksamkeit der Physiker rege machten, waren J. T. Mayer,

1 Experimenta circa effiaciam conflictus electrici in acum magneticam. Hafniae 21. Jul. 1820. Vergl. C. H. Pfaff der Elektro-Magnetismus, eine historisch-kritische Darstellung der bisherigen Entdeckungen auf dem Gebiete desselben, nebst eigenthümlichen Versuchen. Hamb. 1824. 8.

durch eine Anzeige der Oersted'schen Schrift[1] mit dem Zusatze, dafs auch ihm die wiederholten Versuche gelungen seyen, und DE LA RIVE, welchem es gleichfalls gelang, in Gegenwart ARAGO's und mehrerer Gelehrten das merkwürdige Phänomen wahrzunehmen[2]. Kaum waren aber diese Nachrichten ins Publicum gekommen, als nicht blofs alle Physiker, sondern auch eine Menge Naturforscher, Aerzte, Dilettanten und sogar solche, welchen wissenschaftliche Forschungen übrigens fremd zu seyn pflegen, sich mit einer unerhörten Leidenschaftlichkeit der neuen Entdeckung bemächtigten. Man kann den damaligen allgemein erregten Enthusiasmus füglich demjenigen vergleichen, welcher sich äufserte, als die ersten aërostatischen Maschinen ein bis dahin für unmöglich gehaltenes Problem löseten, mit dem einzigen Unterschiede, dafs zu jener Zeit selbst Könige, Fürsten, Provincialstände und städtische Corporationen jene nicht selten halsbrechenden Schauspiele freigebigst unterstützten und durch Aeufserungen ihres Beifalls beförderten. Indefs haben sowohl einzelne Gelehrte als insbesondere die gelehrten Gesellschaften sich wetteifernd bestrebt, dem berühmten Erfinder ihre Achtung und ihren Dank für seine höchst merkwürdige Entdeckung auszudrücken. Die Ursache einer so allgemeinen Theilnahme lag wohl hauptsächlich darin, dafs die räthselhafte Potenz des Magnetismus, welche zum Ueberdrufs forschender Physiker allezeit ganz isolirt und gleichsam blofs an das starre Eisen gebunden da gestanden hatte, jetzt auf einmal mit einer der allgemeinst verbreiteten Potenzen in Verbindung trat, theils an dem Imposanten einer merkwürdigen Thatsache, welche nach ermüdenden Speculationen, namentlich in Deutschland, jetzt plötzlich in ihrer ganzen Wichtigkeit hervortrat, theils endlich in der Leichtigkeit, womit sich diese merkwürdigen Erscheinungen hervorrufen liefsen, und der Kleinheit der hierzu erforderlichen Apparate. Sobald nämlich mehrere Physiker die Versuche zu wiederholen angefangen hatten, entdeckten sie allgemein, dafs man hinlänglich starke Abweichungen der Nadel schon mit Platten von 3 bis 4 Zoll Seite hervorbringen könne, und noch obendrein stärkere, als mit vielplattigen Säulen von kleinerem Durchmesser. BOECKMANN unter andern mühete sich vergebens ab,

1 Gött. Gel. Anz. 1820. N. 171.

2 Bibl. univ. XIV. 281.

mit einer Säule von 200 Doppelplatten von der Gröfse eines Laubthalers die angekündigten Phänomene hervorzubringen, bis er am folgenden Tage durch weit geringere Mittel zum Ziele kam, und ich selbst brachte es endlich dahin, eine Säule von 106 Doppelplatten, gröfstentheils 6 Z. Seite haltend, aufzubauen, um ja des als Bedingung des Gelingens angegebenen Glühens des Platindrahtes versichert zu seyn, fand aber beim Auseinandernehmen der grofsen Säule, dafs die Wirkung bis auf 5 Plattenpaare herab nicht abnahm, und sah am folgenden Tage die Schwingungen der Nadel durch zwei der gebrauchten Platten sehr auffallend hervorgebracht. Von nun an machten in den Jahren 1821, 22 und bis in 23 hinein die Versuche und Theorien über den Elektromagnetismus den Hauptinhalt der physikalischen Zeitschriften aus, der vielen einzeln erschienenen Abhandlungen nicht zu gedenken; die Geschichte kann die verschiedenen Erweiterungen der ursprünglichen Entdeckung nicht einzeln verfolgen, da sie ohnehin bei der Erklärung der Sache selbst kurz erwähnt werden müssen. Nur zwei Entdeckungen verdienen wegen ihrer Wichtigkeit besonders genannt zu werden, nämlich die durch Arago und v. Yelin gleichzeitig gemachte, dafs unter geeigneten Umständen ein Leitungsdraht der Reibungselektricität gleiche Wirkungen auf unmagnetischen Stahl äufsert, als der Verbindungsdraht beider Pole einer Volta'chen Säule; und die zweite von Schweigger und Poggendorf kurz nach einander aufgefundene leichte Isolirung des elektrischen Stromes im leitenden Drahte bei nicht stattfindender Isolirung seines erregten Magnetismus, wonach mehrere Drähte vereinigt werden können, um die Wirkung zu verstärken, was dann den elektromagnetischen *Multiplicator* hervorrief[1].

II. Apparate zur Erregung des Elektromagnetismus.

Das schon erwähnte lebhafte Interesse, womit Oersted's Entdeckung allgemein aufgefafst wurde, die häufigen Wiederholungen des anfänglichen Hauptversuches nebst dem Bestreben, das eigentliche Wesen dieser Sache zu ergründen und die Erfindung wo möglich zu erweitern, haben in einem kurzen Zeit-

1 Vergl. Historical sketch of Electro-magnetism. in Ann. of Phil. New Ser. II. 195. 274. III. 107.

raume die elektromagnetischen Erscheinungen und die Apparate womit diese hervorgebracht werden, so über alle Vorstellung vervielfältigt, dafs es in der That schon jetzt schwierig ist, das Ganze zu übersehen, ohne sich in der Menge der Thatsachen bei der vielfachen Gestaltung derselben zu verwirren. Indem aber viele der beobachteten Phänomene nur in aufserwesentlichen Puncten von einander abweichen, die Apparate vielfach nur unbedeutend abgeändert sind, zur leichteren Uebersicht des Ganzen aber wesentlich erforderlich ist, die hauptsächlichen Erscheinungen in einer gewissen Ordnung zusammenzustellen, so wird es am zweckmäfsigsten seyn, die Zeitfolge der allmäligen Entdeckungen zu verlassen, dagegen aber die ähnlichen Phänomene zusammenzustellen, und zugleich die zu ihrer Erzeugung erforderlichen zweckmäfsigsten Apparate zu beschreiben. Hierbei ist aber nothwendig zuerst Folgendes im Allgemeinen vorauszuschicken.

Die zahlreichen elektrischen Apparate, wodurch der Magnetismus in den verschiedenen leitenden Körpern hervorgerufen wird, und dann auf den Magnet oder blofses Eisen wirkt, und zugleich auch dem Einflusse des Erdmagnetismus unterliegt, sind am gehörigen Orte beschrieben, und müssen daher hier übergangen werden[1]. Im Allgemeinen gehören dazu die gemeine Elektrisirmaschine und die Leidner Flasche, dann aber hauptsächlich die verschiedenen Arten der Volta'schen Säulen. Die letzteren lassen sich füglich unter zwei Hauptclassen ordnen, deren eine aus zwei getrennten Metallen besteht, welche durch einen metallenen Leiter verbunden ihre ungleiche elektrische Spannung vermittelst eines feuchten Leiters ausgleichen. Zu den Metallen wählt man in der Regel Kupfer und Zink, worauf ich mich für den vorliegenden Zweck allein beschränken kann; die einer näheren Untersuchung bedürfenden feuchten Leiter sind entweder in einer stark damit getränkten Tuch- oder Pappscheibe enthalten, oder befinden sich frei in einem Gefäfse. Die andere Classe bilden alle diejenigen Apparate, welche aus mehreren, paarweise verbundenen, und durch feuchte Leiter auf einander einwirkenden heterogenen Metallen bestehen. Hierunter gehören die gemeinen stehenden oder liegenden Säulen, die verschiedenen Trogapparate, Becherapparate u. dgl. Es ist

---

1 S. *Galvanismus*, *Elektrisirmaschine* u. s. w.

zwar hier nicht der Ort, die Wirkungen dieser beiden Arten mit einander in jeder Hinsicht zu vergleichen, noch weniger kann die individuelle Art der Erregung der Elektricität durch dieselben hier erörtert werden, oder die schwierige Frage, ob man den Erscheinungen gemäſs nur eine oder zwei verschiedene Elektricitäten anzunehmen habe; inzwischen hat eben der Elektromagnetismus einen wesentlichen Unterschied jener verschiedenen Apparate erst recht augenfällig gemacht, welcher von manchen bei ihren Versuchen nicht beachtet war, und daher vielfache Verwirrung rücksichtlich derjenigen Richtung hervorbrachte, welche die Magnetnadel entweder östlich oder westlich abweichend gezeigt haben sollte[1]. Um daher ähnlichen Miſsverständnissen zu begegnen, ist es nothwendig, einige wesentliche Bestimmungen über diejenigen Vorstellungen vorausgehen zu lassen, welche man rücksichtlich der Erregung der Elektricität durch Berührung oder den Conflict heterogener Metalle bisher angenommen hat.

Wenn ein Volta'scher Apparat aus zwei heterogenen Metallen und einem flüssigen Zwischenmittel besteht, und man zugleich mit Franklin und Volta nur *eine* elektrische Materie annimmt, so strömt die Elektricität von dem minder elektrischen durch eine vollkommene metallische Leitung zu dem mehr elektrischen, und gleicht sich durch das flüssige Medium wieder aus. Sind daher die beiden Metalle z. B. *Kupfer* und *Zink*, welche rücksichtlich ihrer elektrischen Disposition weit von einander abstehen, werden sie durch einen Metalldraht innig mit einander verbunden, und durch eine nasse Tuchscheibe von einander getrennt, so theilt das minder elektrisch disponirte Kupfer seine Elektricität durch den leitenden Draht dem Zinke mit, welcher sie durch die nasse Tuchscheibe oder die trennende Flüssigkeit dem Kupfer wieder zuführt. Ohne die Richtigkeit dieser Vorstellung Volta's hier prüfen zu wollen, ist es offenbar, daſs hiernach ein beständiger Strom der Elektricität vom Kupfer zum Zinke hin statt finden muſs, und der Draht, durch welchen die Leitung dieses Stromes geht, äuſsert dann die nachher zu erwähnenden magnetischen Wirkungen. Sind dagegen mehrere Plattenpaare heterogener Metalle mit einander verbunden, oder ist eine Säule so angeordnet, daſs Kupfer, Zink,

1 Gilb. Ann. LXVI. 348.

feuchter Leiter; K. Z.; F....... in dieser fortgehenden Reihenfolge mit einander verbunden werden, so geht allerdings gleichfalls sowohl bei der ersten, als auch der zweiten und jeder folgenden dieser Verbindungen die Elektricität vom Kupfer zum Zink über, und theilt sich dann so verstärkt durch den feuchten Leiter jedem folgenden Paare mit. Allein eben hierdurch muſs das Kupfer des ersten Paares am stärksten negativ, das Zink des letzten dagegen am stärksten positiv elektrisch werden, und ein diese beiden verbindender metallischer Leiter wird sonach die Elektricität vom letzten Zinke dem ersten Kupfer wieder zuführen. Hierbei ist also die Richtung des elektrischen Stromes die entgegengesetzte, und die Wirkungen auf den Magnet sind daher rücksichtlich der erzeugten Ablenkung die entgegengesetzten der vorigen.

Die beiden so eben beschriebenen Apparate bieten übrigens auſser der Richtung des elektrischen Stromes noch eine längst bekannte wesentliche Verschiedenheit dar. Indem nämlich die *Menge* der Elektricität, welche von einer Kupferplatte zu einer Zinkplatte übergeht, der Gröſse derselben proportional seyn muſs, so scheint es, als käme man bei den aus einem Paare Metallplatten bestehenden Apparaten sehr bald an die Grenze der möglicher Weise hervorzubringenden Elektricität, indem eine einzelne Platte nicht füglich übermäſsig groſs seyn kann. Allein man hat Mittel gefunden, auch auf diese Weise mächtige Wirkungen hervorzubringen, indem man mehrere Zinkplatten und mehrere Kupferplatten durch metallische Leiter mit einander verbindet, die so vereinigten aber insgesammt, jede einzeln, von einander durch einen feuchten Leiter trennt, so daſs also die sämmtlichen Zinkplatten als eine einzige, und die sämmtlichen Kupferplatten wieder als eine einzige wirken, folglich auch ein Metalldraht einen starken elektrischen Strom vom Kupfer zum Zink überführen muſs. Die Zahl der Plattenpaare bei der anderen Art von Apparpaten kann leicht willkürlich vermehrt werden, und man hat daher auf diese Weise wahrhaft riesenmäſsige Säulen zu Stande gebracht. Allein die *Menge* der Elektricität eines ersten Plattenpaares ist eine gegebene, und wird durch ein folgendes nicht verdoppelt, bei schlechter Leitung des feuchten Zwischenmittels oder bei trockenen Säulen, gar nicht vermehrt, wohl aber wird die *Spannung* derselben verdoppelt, und so bei jedem folgenden um eine gleiche Gröſse

verstärkt. Indem hiernach also die Wirkungen beider im Allgemeinen verschieden seyn müssen, so sind sie es auch vorzüglich in Beziehung auf die Hervorbringung des Magnetismus, und zwar in der Art, dafs die *Stärke des erzeugten Magnetismus* der *Menge der Elektricität*, nicht aber der *Spannung derselben* proportional ist. Hierin liegt der Grund, weswegen anfangs mehrere Physiker mit vielplattigen Säulen nur eine geringe Schwankung der Nadel erhielten. Bei der Anwendung von zwei gröfseren, 4 bis 8 Zoll Seite haltenden Platten aber sofort die Magnetnadel stark abweichen, und sogar in einem ganzen Kreise umlaufen sahen. Schweigger[1] war wohl der erste, welcher dieses bekannt machte, bald aber wurde es durch verschiedene andere Gelehrte bestätigt und genauer bestimmt. Von Yelin, als einer der ersten und eifrigsten Forscher im Gebiete des Elektromagnetismus, fand, dafs eine Säule von 50 Plattenpaaren keine merklich gröfsere Elongation gab als eine von 10 Paaren, dafs dagegen bei *einem* Paare Metallplatten die Wirkung ihrer Gröfse fast direct proportional sey[2]. Zambonische Säulen dagegen von 5500 und 11000 Scheiben, deren Durchmesser 8 Lin. betrug, hatten auf die Magnetnadel gar keinen Effect[3]; eine nachher vielfach bestätigte Erfahrung[4], welche daher berechtigt, die trocknen Säulen von der Untersuchung der gewöhnlichen elektromagnetischen Erscheinungen ganz auszuschliefsen. Unter die entscheidenden Versuche über diesen Hauptsatz in der Lehre vom Elektromagnetismus gehören die von G. G. Schmidt[5]. Dieser nahm 3 kupferne Kasten, 5 Z. ins Gevierte und 1 Z. weit, jeden mit einer darin hängenden Zinkplatte, füllte sie mit im Verhältnifs von 60 : 1 verdünnter Schwefelsäure, verband die gleichartigen Metalle mit einander, und erhielt auf diese Weise mit 3 Kästen 50°; mit zwei Kästen 31° und mit einem 17° Abweichung der Magnetnadel, dagegen gaben alle drei als 3 Metallpaare wirkend nur 18° bis 20°. Aehnliche Resultate

---

1 Gött. Gel. Anz. 1820. St. 171. S. 1710. Dessen Journ. N. F. I. 1.

2 G. LXVI. 397.

3 G. LXVI. 324.

4 Bechstein's Säule, aus 20000 sechszehn quadratzölligen Scheiben bestehend, zeigte gleichfalls keine Wirkung. S. G. LXVII. 381. Vergl. Erman ebend. 422.

5 G. LXX. 230.

erhielten C. Schrader[1], C. H. Pfaff[2], Davy[3] und viele andere. Nach den Versuchen von van Beek[4] wirkte ein Wollaston'scher Trogapparat von 120 Plattenpaaren, dessen Zink eine Oberfläche von 11 Quadratfuſs darbot, und welcher die Kohle mit groſsem Glanze verbrannte, nicht so stark auf die Magnetnadel, als ein einziges solches Plattenpaar, dessen Zink ungefähr 3,5 Quadratf. Oberfläche hatte. Als man aber von dem Trogapparate nur so viele Paare auf die Magnetnadel wirken lieſs, daſs der Zink mit dem einen Plattenpaare eine gleiche Oberfläche hatte, gaben diese nur 12° Abweichung derselben, statt daſs jenes 60° gegeben hatte.

Nach solchen entscheidenden Thatsachen wird man schwerlich geneigt seyn, die verschiedenen mehrplattigen Apparate zur Erregung des Elektromagnetismus zu benutzen, und man hat auch bald angefangen, sie von dieser Benutzung auszuschlieſsen. Aber auch die aus einem einzigen Plattenpaare bestehenden Apparate sind ziemlich vielfach, und es wird daher genügen, die hauptsächlichsten derselben kurz zu beschreiben.

A. Elektromotore.

1. Der einfachste Apparat, dessen man sich zur Hervorbringung einer groſsen Zahl elektromagnetrischer Erscheinungen bedienen kann, besteht aus zwei gleichgroſsen Platten, die eine von Zink, die andere von Kupfer, jede mit einem aufgelötheten Messingdrahte von mehreren Fuſsen Länge. Man legt die eine Scheibe flach auf eine Glasscheibe, einen gläsernen Teller, ein Weinglas oder eine sonstige isolirende Unterlage ohne ängstliche Sorge für eine nicht wesentliche vollständige Isolirung, bedeckt sie mit einer mit der leitenden Flüssigkeit stark getränkten Tuchscheibe, und legt die andere Platte darauf. Nach Erfordern wird dann durch einen oder durch beide Drähte die Verbindung zwischen beiden Platten hergestellt. Bedient man sich groſser Platten, welche man von einem Quadratfuſs Flächeninhalt jedes Metalles bis zu 4 auch wohl 9 und noch mehreren Quadratfuſsen

---

1 Diss. inaug. medico-physica de Electro-Magnetismo. Halae 1821. p. 26.

2 Der Elektromagnetismus S. 111.

3 G. LXXI. 231.

4 G. LXIX. 200.

in Anwendung bringen kann, benetzt die Tuchscheibe etwas stark und belegt die obere Platte mit verhältnifsmäfsig vielen Gewichten, so erhält man einen vorzüglich starken Apparat, welchem ich vor allen andern den Vorzug geben möchte. Nachtheilig ist, dafs die Metalle während der ganzen Dauer der Versuche im Conflicte bleiben, und daher stark angegriffen werden. Wenigstens ist dieses beim Zinke der Fall.

2. Gleich bequem, hinlänglich wirksam und für viele Fälle passend sind die schon oben erwähnten kupfernen Kasten nach Wollaston, deren Form im Allgemeinen ähnlich bleibt, während ihre Gröfse vom kleinsten bis zum gröfsten zunehmen kann. Gewöhnlich macht man sie von Kupfer, etwa 6 Z. ins Gevierte, oder 6 Par. Z. lang, 5 Z. hoch und 1 Z. tief, welche mit der leitenden Flüssigkeit gefüllt werden, worin dann die etwas weniger lange Zinkplatte so getaucht wird, dafs sie den Boden nicht berührt. Man kann diese Kasten mit dem Schnelllothe der Klempner oder auch hart löthen; Letzteres ist nothwendig, wenn man sich der Salmiakauflösung als leitender Flüssigkeit bedient, indem diese sonst das Schnellloth zerstört. Zum festen Stande derselben kann man ihnen irgend einen Fufs geben, auch ist es rathsam, an den Seiten derselben zwei geeignete Träger mit Gabeln anzubringen, die Zinkscheibe an zwei messingenen Haken über eine Glasröhre zu hängen, und letztere so in die Gabeln zu legen, dafs die Feuchtigkeit von der aus dem Kasten gehobenen Zinkplatte in den Kasten wieder zurückläuft. Dieses gewährt den Vortheil, dafs die Zinkplatte nicht zu sehr zerfressen wird, die anhaltende Gasentwickelung weniger beschwert, und man auf beliebig lange oder kurze Zeit die galvanische Verbindung herstellen oder trennen kann. An die eine Seite des kupfernen Kastens wird das eine Ende eines Drahtes gelöthet, dessen anderes Ende an das obere Eck der Zinkplatte gelöthet ist. Hängt dann die Platte an der Glasröhre in den Gabeln, so ist die galvanische Kette geöffnet, wird aber geschlossen, wenn man sie in die Flüssigkeit des Kastens senkt, und auf den Rändern des letzteren an der tragenden Glasröhre isolirt ruhen läfst. Solcher Kasten lassen sich mehrere mit einander vereinigen, wenn man das Kupfer derselben unter sich und eben so die Zinkplatten unter sich durch metallische Leitung verbindet, wonach also jene mit diesen zusammen nur zwei Elemente bilden. Diese Kasten sind ferner geeignet, um

sehr grofse Apparate zu entscheidenden Versuchen zu erhalten. Sie lassen sich nämlich leicht in solcher Gröfse verfertigen, dafs jede einzelne Zinkplatte 6 Par. Quadratfufs hält, und wollte man 12 solcher Kasten vereinigen, so gäbe dieses 72 Quadratfufs Zink, eine gewifs ins Ungeheure gehende Batterie. In diesem Falle müssen aber die zwei bis drittehalb Zoll weiten Kasten unten eine Röhre haben, um die Flüssigkeit abzulassen, wenn man das Ausfüllen mit einem Heber nicht vorzieht, die Zinkplatten aber müssen an einem hölzernen Rahmen befestigt seyn, und vermittelst zwei oder mehrerer Seile, welche über Rollen gehen, durch Gegengewichte balancirt werden, um sie bequemer herauszuheben und schnell durch Herablassen derselben die galvanische Kette zu schliefsen. Die geeignetste Flüssigkeit für diese Apparate ist verdünnte Schwefelsäure, weil durch diese die Kupferflächen am wenigsten beschmutzt werden, und man zu ihrer Reinigung blofs des Ausspülens mit reinem Wasser bedarf, die Zinkplatten aber gar keine Reinigung erfordern, aufser dafs es gut ist, sie einigemale in das zum Ausspülen der Kasten in diese gegossene Wasser zu tauchen. Bei einem neuen Versuche weicht die Säure den erzeugten Schmutz sehr bald wieder auf, ohne dafs man eine merkliche Verminderung der Wirkung wahrnimmt.

3. Die eben beschriebenen Kasten sind theuer, wenn man sie hart löthen läfst, bei der Löthung mit Zinn kann auf die Dauer keine Salmiakauflösung angewandt werden, wie oben schon erwähnt ist, die Schwefelsäure erzeugt aber bei grofsen Apparaten eine solche Menge von Zinkhaltigem Wasserstoffgas, dafs es nicht blofs gefährlich, sondern selbst unmöglich ist, dabei auszudauern[1]. Man mufs diesem daher, wenn man im Grofsen arbeiten will, einen Abzug durch eine Art von Schornstein verschaffen, und aufserdem den elektromotorischen Apparat in einem besondern Zimmer aufstellen. Ein grofser, leicht zu handhabender, für jede Art von Flüssigkeit geeigneter und doch leicht aufzubewahrender Apparat ist folgender. Man nimmt eine blofse Kupferplatte, welche von 1 bis 9 Quadratfufs Fläche und noch darüber leicht zu erhalten ist, läfst diese spannen und ihren Rand nach Verhältnifs ihrer Gröfse 0,75 bis 2 Zoll hoch aufbiegen, legt sie auf einen hölzernen Rahmen

---

1 Vergl. unten: *feuchte Leiter.*

oder eine Tischplatte horizontal, in dieselbe eine erforderliche Zahl Glasstücke und auf diese die Zinkplatte gleichfalls horizontal, gieſst dann die Flüssigkeit hinein, uud verbindet beide Metalle durch einen Leitungsdraht. Ist der Apparat sehr groſs, so muſs die Zinkplatte durch das Aufbiegen ihres Randes in der Höhe von etwa 0,5 Zoll gesteiſt, und mit zwei Handhaben versehen seyn, um sie bequem aufheben und niederlegen zu können. Man stellt dann an die zwei Ecken der Kupferplatte zwei hölzerne Böcke, einige Zolle höher als die Kupferplatte und mit einer Gabel oder nur einem Ausschnitte versehen, legt parallel mit der Seite der Kupferplatte eine hinlänglich starke Glasröhre hinein, stellt zwei ähnliche, nur 0,5 Z. niedrigere Böcke neben die Kupferplatte, hebt die Zinkplatte in die Höhe, schiebt unter sie in die beiden letzteren Böcke gleichfalls eine starke Glasröhre, und läſst sie hierauf ruhen, wobei die Flüssigkeit in die Vertiefung der Kupferplatte abflieſst, die Zinkplatte aber gegen zu starkes Zerfressen geschützt wird. Ist letztere zu schwer, so läſst sich das Heben derselben auch durch einen Flaschenzug bewerkstelligen. Im Ganzen sind aber solche Apparate im Vergleich mit andern zu unbequem.

4. Einen zweckmäſsigen Apparat zur Hervorbringung eines starken elektrischen Stromes hat G. G. Schmidt[1] angegeben. Dieser bestand aus einer Kupferplatte von 20 Z. Höhe und 30 Z. Länge, welche gespannt und ihrer Länge nach dreifach in der Richtung a b c d e gebogen war. Die Breite der dadurch entstandenen 4 Flächen betrug etwa 6 Zoll, der Abstand jeder einzelnen Fläche 2 Z. Eine Zinkplatte, gleichfalls 20 Z. breit, wurde dann in die Gestalt f g h i k gebogen, und eine gerade Zinkplatte l o durch vier halbrund gebogene Zinkstreifen m, n; m, n mit ihr verbunden, so daſs also alle drei Zinkplatten, mit einander vereinigt, als eine einzige wirkten, und der Apparat sonach als aus zwei Elementen bestehend anzusehen war. Der Zwischenraum der zwischen einander geschobenen Platten betrug einen Zoll. Vom oberen gekrümmten Ende der Zinkplatte g i ging ein 5 Z. langer und 1 Z. breiter Zinkstreifen h q horizontal heraus, endigte in einen Haken, und hatte bei q eine Vertiefung zur Aufnahme von etwas Quecksilber. An den gegenüberstehenden beiden Krümmungen der Kupferplatte b d war ein ähn-

Fig. 60.

1 G. LXXII. 1.

licher Kupferstreifen angelöthet, gleichfalls mit einem Haken und einer Vertiefung bei p. Hiernach waren also p und q die beiden entgegengesetzten Pole des Elektromotors, der ganz in ein kleines Fäſschen von Eichenholz gestellt wurde, welches 20 Maſs, ungefähr 80 ℔ Wasser faſste, und am Boden mit Pech ausgegossen war. Das Metall berührte nirgend die Seitenwand des Fäſschens, und ragte etwa 1 Z. über den Rand desselben empor. Auf das Fäſschen paſste ein cylindrischer Deckel, in der Mitte mit einem 2 F. hohen Rohre zum Abführen des entbundenen Wasserstoffgas versehen, und die beiden Polarstreifen p und q ragten durch zwei Einschnitte im Deckel hervor.

Da eine Menge der interessantesten elektromagnetischen Erscheinungen nur durch groſse Apparate hervorgerufen werden kann, so muſs man allezeit die Frage berücksichtigen, ob die in Vorschlag gebrachten auch in gröſserem Maſsstabe ausführbar sind. Dieses läſst sich allerdings von dem hier beschriebenen behaupten; indeſs muſs ich wegen einer gemachten Erfahrung doch rathen, bei der Ausführung ähnlicher Apparate genau die hier gegebene Vorschrift zu befolgen, wenn man einer bedeutenden Wirkung versichert seyn will. Ich habe nämlich einen ähnlichen Apparat verfertigen lassen, aus 16 Zinkplatten, jede nahe 2 Quadrf. Fläche haltend, welche in einen kupfernen Trog mit eben so viel lothrecht in denselben eingelassenen und nahe 2 Z. von einander abstehenden Kupferplatten herabgelassen wurden, ohne wie sich von selbst versteht, den Boden zu berühren, und so daſs ich mich von dem Getrenntseyn der zwei Metalle durch zwischengesteckte Glasröhren überzeugte. Die Gasentwickelung war auſserordentlich stark, aber die elektromotorische Wirksamkeit unmerklich, und ich kann daher nicht anders glauben, als daſs die in bedeutender Stärke hervorgerufene Elektricität die für ihre zu groſse Erregung zu dünnen Schichten der Flüssigkeit durchdrang. Wahrscheinlich aber lag die Ursache des Miſslingens in dem nicht zweckmäſsig gewählten kupfernen Kasten, welcher den ganzen Apparat einschloſs, und ist daher ein hölzerner, mit Pech ausgegossener, auf allen Fall vorzuziehen.

5. Die mächtigsten Apparate, welche man bisher zur Erzeugung der elektromagnetischen Erscheinungen benutzte, sind die riesenhaft groſsen, welche Robert Hare unter dem Namen

Calorimotor und *Deflagrator* bekannt gemacht hat, einige noch gröſsere im Besitze begüterter Britten und die gröſsten von allen im Royal Institution zu London. Es giebt indeſs nur *einen* elektromagnetischen Versuch, welcher einen so kolossalen Apparat erfordert, wenn das Resultat in seiner auffallenden Eigenthümlichkeit hervortreten soll, und weil zugleich diese Apparate am gehörigen Orte ausführlich beschrieben werden[1], so übergehe ich sie hier, um noch die Beschreibung eines sowohl im Kleinen als auch im Groſsen ausführbaren bequemen Apparates hinzuzufügen, welcher mir unter die zweckmäſsigsten zu gehören scheint, und dem von Hare[2] zuerst angegebenen Calorimotor oder noch eigentlicher dem *elektromagnetischen Apparate* von Pepys[3] nachgebildet ist. Um zugleich die Dimensionen und die erhaltenen Wirkungen zu vergleichen, beschreibe ich denjenigen, welchen ich selbst habe ausführen lassen.

Drei Zinkplatten, jede 5 Par. F. lang und 2 F. breit wurden zu einer einzigen langen Platte zusammengeniethet, wobei das Durchschlagen der Niethe die Metalle, wie ich mich überzeugt habe, in so innige Verbindung bringt, daſs kein Zusammenlöthen weiter erforderlich ist. Demnächst wurde die vereinte Platte nach einer in natürlicher Gröſse entworfenen Zeichnung genau in die Spirale $\beta\gamma$ ihrer Länge nach gebogen. Drei gleich Fig. 61.
hohe, zusammen 17,5 F. lange Kupferplatten wurden auf gleiche Art zusammengeniethet, und in die Spirale $\alpha\delta$ gebogen, und nachdem beide durch ihre eigene Elasticität sich in dieser Form erhielten, wurde die Zinkplatte in die Kupferplatte von oben herab niedergelassen, so daſs ihre Windungen nach der Zeichnung liefen, und durch Biegen, Richten und Schieben in nahe genau 0,5 P. Z. Abstand von einander kamen. Die inneren Windungen bei γ und δ müssen am genauesten gebogen seyn; indeſs erhalten sich diese, wenn sie einmal gehörig verfertigt sind, durch ihre Kleinheit am leichtesten in ihrer Form. Um indeſs den Abstand der einzelnen Windungen völlig genau zu erhalten, wurde ein für den Abstand von $\gamma\delta$ und die ersten Win-

1 S. *Galvanismus.*

2 The American Journ. of Sciences and the Arts. III. 105. u. 345. Vergl. Schweigg. J. XXVI. 321.

3 Phil. Trans. 1823. II. Ann. de Chim. et Ph. XXV. 217.

dungen gearbeiteter Stab in der Mitte hinabgeschoben, zwischen die übrigen Windungen aber im Ganzen 60 tannene Stäbe, 2 F. lang und von 0,5 Par. Z. Seite des quadratischen Querschnittes herabgedrückt, und zuletzt das Ganze mit einem Seile mehrmals umwunden. Als Träger dieser Metallmasse stand eine vom Kübler aus mehreren Stäben nach Art eines Faſsbodens verfertigte, durch eine starke, unterhalb eingelassene Leiste befestigte Scheibe von Eichenholz bereit, in deren Mitte eine Stange a eingelassen war, 2,7 F. lang 1,5 Z. breit und 1 Z. dick. Weil diese bestimmt war, die ganze Last des Metalles zu tragen, so wurden unten an den beiden schmalen Seiten zwei starke Kupferstreifen eingelassen, welche 3 Z. über die Oberfläche der Scheibe hervorragend vermittelst zweier starken Kupferdrähte an die Stange a geniethet, dann durch die Scheibe herabgelassen, unten 2 Z. lang umgebogen und vermittelst kurzer, nicht durch das Holz reichender kupferner Nägel befestigt wurden. Der Halbmesser der Scheibe betrug 0,5 Z. mehr, als die gerade Linie vom Mittelpuncte in a bis nach *a*. Um die Scheibe war ein hölzerner, 0,5 Z. über ihre Fläche hervorragender Reifen gelegt, und sie dann bis zu dieser Höhe mit schlechter Elektrophormasse übergossen, nach deren Erkalten die Metallmasse auf dieselbe herabgelassen, ordentlich gerichtet, und von der Berührung mit dem Stabe a durch vier an derselben herabgedrückte Glasstreifen abgehalten wurde. Damit dann die Metallwindungen in das Pech einschneiden möchten, wurde von oben herab siedendes Wasser hineingegossen, worauf das erwärmte Metall in die erweichte Masse durch sein eigenes Gewicht einsank. Um auch oben den Abstand der Windungen bleibend zu erhalten, wurden zwei hölzerne Stäbe 0,5 Z. breit und 1,3 Z. hoch in 2 Zoll Abstand von der Stange a mit einander parallel quer übergelegt, für die Metallränder mit der Säge 0,5 Z. tief eingeschnitten, dann herabgedrückt, endlich wurden der hölzerne Reifen, das Seil und die zwischengeschobenen Stäbe weggenommen, und der Apparat war so weit fertig.

Um denselben bequem in einen eichenen, nach oben etwas erweiterten, unten genau die tragende Scheibe fassenden, mit drei kupfernen Reifen beschlagenen Behälter der Flüssigkeit herabzulassen, war oben an der Stange a eine kupferne Klammer vermittelst zweier Niethen befestigt, welche einen kupfernen Ring trug, in welchen der Haken des hebenden Flaschenzuges ge-

hängt werden kann. Damit aber der unerträgliche Einfluſs des entwickelten Gas vermieden werde, ruhet auf den oberen eingeschnittenen parallelen Stäben ein Deckel, welcher den etwas über das Metall hervorragenden Behälter genau verschlieſst, und das gebildete Gas durch ein krummgebogenes, aus dem Fenster geleitetes Rohr entweichen läſst. Durch den Deckel sind endlich zwei an die Enden α und β angelöthete, aufrecht stehende, über dem Deckel rechtwinklich umgebogene und zu Schälchen vertiefte Kupferstreifen angelöthet, welche zur Aufnahme von etwas Quecksilber, oder auch zum Anlöthen längerer Drähte dienen.

Die Wirkung dieses allerdings groſsen, aber bequemen Apparates, welcher ohne Schwierigkeit von einem Manne vermittelst des Flaschenzuges aus der Säure in die Höhe gezogen und in dieselbe herabgelassen werden kann, hat mich nur in einer Hinsicht befriedigt. Es war nämlich seine Kraft des Verbrennens der Metalle nicht stärker, als bei einer mäſsigen Säule, die elektromagnetische dagegen war so stark, daſs ein Messingdraht von 1,5 Lin. Durchmesser bei einer allmälig steigenden Hitze, welche das Halten mit den Fingern nicht zulieſs, einen Cylinder von Eisenfeilicht bis zur Dicke einer halben Linie um sich bildete. Die gebrauchte Säure bestand aus Wasser mit etwa ein Sechzigtheil englischer Schwefelsäure und halb so viel rauchender Salpetersäure dem Volumen nach. Reines Regenwasser gab eine sehr sichtbare Abweichung der Magnetnadel, und eine spätere Verdünnung der gebrauchten Säure durch $\frac{1}{3}$ Wasser schwächte die Wirkung nicht merklich. Verdünnte Schwefelsäure konnte ich wegen noch nicht hergestellter Gasableitung bis jetzt nicht versuchen. Uebrigens stimmen diese Beobachtungen ganz mit denen überein, welche auch Pepys gemacht hat, und es geht daraus hervor, daſs solche Apparate die elektromagnetischen Erscheinungen in groſser Stärke zeigen, für chemische Wirkungen dagegen und auch zum Verbrennen der Metalle wenig geeignet sind. Rücksichtlich des Letzteren scheint es der groſsen Menge von erregter E. an der erforderlichen Kraft zu fehlen, um schlechtere Leiter zu durchdringen, denn ein Messingdraht von 1,5 Lin. Durchmesser wurde so heiſs, daſs man ihn nicht mit den Fingern halten konnte, ein Platindraht von 0,2 Lin. Durchmesser wurde dagegen nur warm.

Indeſs habe ich die Versuche nicht oft genug wiederholt, um hierüber bestimmt entscheiden zu können.

B. Feuchte Leiter.

Die so eben beschriebenen, und überhaupt alle zur Erzeugung elektromagnetischer Wirkungen dienenden Volta'sche Apparate bedürfen eines feuchten Zwischenmittels. Nun werden zwar diese elektromagnetischen Erscheinungen, wenn man die geringsten Einwirkungen auf die Bewegung der feinsten Nadeln mitrechnet, durch die verschiedensten galvano-elektrischen Zustände der Körper hervorgebracht; allein wenn wir uns nicht in das Gebiet des Galvanismus verirren wollen, so gehören alle diejenigen Untersuchungen nicht *zunächst* zum Elektromagnetismus, bei denen man sich der höchst beweglichen Magnetnadeln bedient, um von ihrer Bewegung auf das Vorhandenseyn der Elektricität zu schlieſsen. Rücksichtlich auf den *Elektromagnetismus* an sich darf man es nur im Allgemeinen als Thatsache aufstellen, daſs die Stärke, worin derselbe hervorgerufen wird, der Intensität der erzeugten Elektricität proportional ist. Eben daher kann hier auch die Frage nicht erörtert werden, ob die Stärke des erzeugten Elektromagnetismus durch die chemische Einwirkung der feuchten Leiter auf die Metallplatten bedingt werde, indem dieses vielmehr von der Beantwortung der Frage abhängt, ob die im Volta'schen Apparate erzeugte Elektricität durch den Chemismus der bei ihnen angewandten Metalle und feuchten Leiter erzeugt oder verstärkt wird. Weil daher alle diese nicht leichten Untersuchungen hier unerörtert bleiben müssen, so kommt zunächst in Beziehung auf das Praktische bei der Anstellung der Versuche nur *die* Frage in Betrachtung, *welcher Flüssigkeiten man sich am besten bedienen kann, um die elektromagnetischen Erscheinungen leicht und in gröſster Stärke hervorzurufen.*

Wenn man aus den vielen Versuchen, welche zunächst in dieser Absicht angestellt sind, und aus den gelegentlich mitgetheilten Angaben über die angewandten feuchten Leiter die Hauptresultate heraushebt, so sind folgende Flüssigkeiten für diesen Zweck am geeignetsten.

1. *Verdünnte Schwefelsäure,* welche neben ihrem geringen Preise zugleich fast die stärksten Wirkungen hervorbringt, die gebrauchten Metalle nicht sehr beschmutzt, so daſs sie leicht

gereinigt werden können, und das Zinn der Löthung nicht angreift. Eine grofse Unbequemlichkeit derselben ist indefs die allezeit bedeutende Gasentwickelung, desgleichen das allmälige Verzehrtwerden des Zinkes, welches bei anhaltenden Versuchen so stark ist, dafs die Apparate bald unbrauchbar werden. Ueber das beste Verhältnifs der Mischung von Wasser und Schwefelsäure sind die Beobachter nicht einig. Poggendorff erhielt die stärkste Wirkung bei einer Verdünnung der Schwefelsäure von 184° mit etwa 3 Th. Wasser; Seebeck[1] durch Schwefelsäure von 1,845 sp. Gew. mit 2 Th. Wasser verdünnt; Pfaff[2] mit englischer Schwefelsäure und 4 Th. Wasser. Es scheint mir bei dieser Bestimmung zugleich die Gröfse der gebrauchten Apparate einen Unterschied zu machen, indem ich aus verschiedenen Versuchen, namentlich mit dem oben Nr. 5. beschriebenen Apparate schliefsen zu müssen glaube, dafs bei grofsen Apparaten die Menge der erzeugten Elektricität sich durch die concentrirbaren Säuren wegen der vollkommneren Leitung zu leicht einen Weg bahnt, als dafs sie hinlänglich wirksam seyn könnte.

2. *Gesättigte Salmiakauflösung* wirkt nach Pfaff[3] fast eben so stark als die beste Mischung von Schwefelsäure und Wasser, womit Poggendorff übereinstimmt. Ihre Wirksamkeit ist aufserdem länger dauernd, als die der Säuren, auch kann man die schon gebrauchte, von etwas Schmutz durch ruhiges Stehenlassen leicht zu reinigende Flüssigkeit stets wieder benutzen, wenn man die unter Nr. 2 bis 5 beschriebenen Apparate gebraucht. Indefs hat sie die Nachtheile, dafs sie das Zinn der Löthung zerfrifst, Kupfer und Zink sehr beschmutzt, wovon ersteres mit verdünnter Schwefelsäure leichter, letzteres aber nur durch starkes Scheuern mit Sande mühsam gereinigt werden kann. Für grofse Apparate ist diese Substanz aufserdem kostbar.

3. *Gesättigte schwefelsaure Zinkauflösung* ist hauptsächlich durch Pfaff[4] empfohlen, welcher ihre Wirkung der durch die beste Mischung von Schwefelsäure und Wasser gleichsetzt,

1 Berliner Denkschriften für 1820–21. S. 311.
2 Der Elektromagnet. S. 81.
3 a. a. O.
4 a. a. O. S. 84.

und ihre chemische Wirkung = 0 annimmt. Um dieses zu prüfen, habe ich die Versuche mit einem kleinen kupfernen Kasten von 5 Z. Höhe, 6 Z. Breite und 1 Z. Tiefe wiederholt, und dabei gefunden, daſs das käufliche schwefelsaure Zink etwas verunreinigendes Kupfer auf der Zinkplatte absetzt. Auch das reine schwefelsaure Zink setzt mit der Zeit merklichen Schmutz auf der Zinkplatte ab, und es entwickeln sich an dieser nicht wenige Luftblasen. Die Wirkung ist anfangs der durch verdünnte Schwefelsäure erzeugten nahe gleich, nimmt aber nach 4 Stunden bleibender Schlieſsung der Kette bedeutend ab, und ist nach 24 Stunden fast ganz verschwunden. Gegen die Behauptung aber, daſs elektromagnetische Wirkungen ganz ohne chemische Thätigkeit stattfinden sollen, streiten sehr bestimmt die Versuche von Pouillet[1], wonach Nadeln aus nicht oxydirbaren Metallen in Theile des thierischen Körpers gesenkt und mit einem Multiplicator verbunden, gar keinen Einfluſs auf die Magnetnadel zeigen, welcher dagegen bei Anwendung von rostenden stählernen sogleich zum Vorschein kommt. Eine Erörterung dieser Frage gehört nicht hierher.

4. *Gesättigte schwefelsaure Kupferauflösung* soll nach Pfaff[2] unter allen von ihm versuchten Flüssigkeiten die stärkste Wirkung geben. Indeſs ist diese Substanz theuer, und setzt sehr bald einen starken Ueberzug von Kupfer auf der Zinkplatte ab, wodurch ihre weitere Wirksamkeit aufgehoben wird. Beide genannte Flüssigkeiten können daher keineswegs dazu gebraucht werden, um die Elektromotoren in stets fortdauernder Thätigkeit zu erhalten, wie man auf den ersten Blick wohl anzunehmen geneigt seyn könnte.

5. Sonst gebraucht man noch *Salpetersäure*, allein diese greift das Metall heftig an, und übertrifft hinsichtlich ihrer Wirkung die Schwefelsäure nicht. Viele bedienen sich auch einer *Mischung von Salpetersäure, Schwefelsäure und Wasser.* Davy[3] nahm bei den Versuchen, welche er zur Erzeugung einer mächtig wirkenden Elektricität anstellte, eine Mischung aus 1168 Th. Wasser, 108 Th. Salpetersäure und 25 Th. Schwefelsäure. Eine ähnliche Mischung habe ich verschiedentlich

1 Magendie Journal de Physiol. V. 1.
2 a. a. O.
3 Phil. Trans. 1821. II. G. LXXI. 244.

bei dem oben (II. A. 1.) beschriebenen Apparate angewandt und mit zwei Platten, deren jede nur 18 Z. Seite hatte, sehr starke Wirkungen erhalten. Sie gewährt aufserdem den grofsen Vortheil, dafs man den unangenehmen Einflufs des zinkhaltigen Wasserstoffgas auf die Lungen vermeidet. Für jenen Apparat scheint mir daher, ungeachtet der heftigen Wirkung auf das nicht kostbare Zink, die Anwendung dieser Mischung bei weitem am vorzüglichsten zu seyn. Beim Gebrauche des grofsen Apparates (II. A. N. 5.) war der Geruch nicht unerträglich, es stieg viel Salpetergas auf, dessen Einflufs auf die Respiration aber leicht vermeidlich ist. Wenn man sich also solcher Apparate bedient, bei denen der Zink nur so lange mit der Säure in Berührung bleibt, als man die elektromagnetischen Erscheinungen beobachten will, welches fast in allen Fällen nur eine kurze Zeit geschieht, und daher keine bedeutende Abnutzung der Zinkplatten herbeiführt, so gebührt dieser letzterer Flüssigkeit ohne Streit der Vorzug vor allen übrigen, weil sie die stärksten Wirkungen giebt, und auch bei grofsen Apparaten den unerträglichen und gefährlichen Einflufs auf die Respiration nicht verursacht, welcher bei der Anwendung der verdünnten Schwefelsäure unvermeidlich ist.

C. Die Leiter der Elektricität.

Die elektromagnetischen Wirkungen werden hervorgebracht durch denjenigen Leiter der Elektricität, welcher dieselbe vom positiven Pole zum negativen überführt, also im Allgemeinen durch die Metalldrähte, welche die Verbindung beider im Conflicte befindlicher Metalle bilden, bei den gewöhnlichen Maschinen aber die erregte Elektricität blofs leiten oder zur Entladung der Flaschen dienen. Ueber die letzteren genügt es zu bemerken, dafs man bekanntlich hierzu Messing- oder Kupferdraht nimmt, dessen Stärke übrigens nicht wesentlich in Betrachtung kommt, vorausgesetzt, dafs der elektrische Strom denselben nicht zu zerstören vermag. In Betreff der ersteren kommt sowohl die Länge als auch die Dicke und die elektrische Leitungsfähigkeit der angewandten Metalldrähte in Betrachtung. Weil aber den Versuchen zufolge die auf diese Weise erzeugten elektromagnetischen Wirkungen der Menge der durch die Drähte strömenden Elektricität direct proportional sind, so gehört die Untersuchung über das Verhalten der verschiedenen Drähte in

dieser Hinsicht unter den Artikel *Elektricität*, und rücksichtlich auf den *Elektromagnetismus* genügt es, Folgendes im Allgemeinen anzugeben.

a. Davy's[1] interessante und entscheidende Versuche über die Leitungsfähigkeit der verschiedenen Metalldrähte bleiben hier ganz unerörtert, und es folgt aus denselben für unseren Zweck nur so viel, daſs man bei mächtigen Apparaten Drähte wählen muſs, deren Stärke ein zu starkes Glühen derselben hindert, in welchem Falle sie die gesammte Menge der erzeugten Elektricität ungehindert fortleiten[2]. Für die angegebenen kleinen Kasten und einzelne Scheiben genügen in der Regel die feinsten Claviersaiten.

b. Inzwischen geht doch aus den Versuchen von Poggendorff, Boeckmann und Davy, wonach die elektrische Leitungsfähigkeit der Drähte bei gleicher Länge ihrer Dicke direct proportional ist, und meinen eigenen genugsam hervor, daſs sehr feine Drähte auch bei gleicher Stärke des gebrauchten Elektromotors geringere Wirkungen geben, als dickere. So erhielt ich bei der Anwendung eines Kastens von 6 Z. Länge 4,1 Z. Höhe und 1 Z. Tiefe mit einem Silberdrahte von $\frac{1}{36}$ Lin. Durchmesser 5°; mit einem von $\frac{1}{18}$ L. 7°; mit einem Messingdrahte von $\frac{1}{4}$ Lin. 8°,5; mit einem solchen von 1,2 Lin. 10° Abweichung der Magnetnadel. Wird der Draht bedeutend dicker, so nimmt die Wirkung wieder ab, denn ein Messingdraht von 2,9 Lin. gab nur 9°, und ein Bleicylinder von 34 Lin. nicht mehr als 8°,5. Die Nadel war in allen Versuchen 20 Lin. von der geometrischen Axe der gebrauchten Leiter entfernt, und auch die feinsten Drähte wurden nicht glühend[3].

c. Die Länge der leitenden Drähte macht nach v. Yelin[4] innerhalb mäſsiger Grenzen keinen Unterschied, denn ein Draht

---

1 Phil. Trans. 1821. II. G. LXXI. 241 ff.

2 Ich habe gefunden, daſs bei sehr groſsen Apparaten, wie bei dem oben II. A. 5. beschriebenen, dünne Drähte nicht so leicht heiſs werden, als dicke, vermuthlich weil nicht genug Elektricität durch sie strömt, und ihre verhältniſsmäſsig gröſsere Oberfläche eine leichtere Abkühlung gestattet.

3 G. LXXI. 423. Aehnliche Resultate haben Barlow S. Edinb. Phil. Journ. XXIII. 112. und Cumming S. Transact. of the Cambridge Phil. Soc. for. 1821 erhalten.

4 G. LXVI. 324.

von 6 F. und ein anderer von 1,5 F. Länge zeigten gleiche Wirkungen. Inzwischen beruhet dieser Satz auf den Resultaten solcher Versuche, worin der gebrauchte Draht die durch die beiden Metalle erregte Elektricität mehr als vollständig fortzuleiten vermochte, und stimmt insofern mit vielen Erfahrungen anderer überein. Weil aber H. Davy[1] gefunden hat, daſs die Leitungsfähigkeit eines Drahtes seiner Länge umgekehrt proportional ist, indem z. B. 3 Z. Platindraht von $\frac{1}{110}$ Z. Dicke die Elektricität von 20 Plattenpaaren zu leiten vermochten, wenn 6 Z. die von nur 10 Plattenpaaren leiteten, so folgt hieraus, in Verbindung mit dem andern oben erwähnten Satze, wonach die Stärke der elektromagnetischen Wirkung der Menge der durch den galvanischen Leiter strömenden Elektricität proportional ist, daſs auch die elektromagnetische Kraft der Länge der Leitungsdrähte dann umgekehrt proportional ist, wenn sie die erregte Elektricität gerade vollständig zu leiten vermögen.

C. H. Pfaff[2] beweiset durch eine Reihe von Versuchen, welche mit Multiplicatoren von vielfachen Windungen angestellt wurden, daſs bei einer gegebenen Dicke des Leitungsdrahtes die Länge desselben bis zu einer Gröſse vermehrt werden kann, bei welcher eine vollständige Durchströmung der erregten Elektricität durch denselben nicht mehr statt findet. Am entscheidendsten sind aber die Versuche, welche Barlow[3] absichtlich zur Beantwortung dieser Frage angestellt hat, und aus denen mit fast vollständiger Uebereinstimmung folgt, daſs die Tangenten der Abweichungen, welche gleiche Magnetnadeln bei gleichem Abstande unter oder über den galvanischen Leitungsdrähten von verschiedener Länge zeigen, den Quadratwurzeln aus den Längen umgekehrt proportional sind. Bezeichnet man also den Abweichungswinkel bei einer Länge = 1 des galvanischen Leiters durch v, bei einer Länge = L aber durch v', so ist

$$\text{tang } v' = \text{tang } v \sqrt{\frac{1}{L}}$$

Die Länge und die Dicke der Metalldrähte also, welche die

1 a. a. O.

2 Der Elektromagnetismus u. s. w. S. 109. Aehnliche Versuche von Seebeck S. Berlin. Denkschr. 1820—21. S. 318 ff.

3 Edinburgh Phil. Journ. XXIII. 105.

Pole der Volta'schen Säule verbinden, bedingen die Stärke der elektromagnetischen Wirksamkeit auf die Nadel mit Rücksicht auf ihr elektrisches Leitungsvermögen, welches letzteres dann wieder nach Davy blofs durch die Masse, nicht aber durch die Gröfse der Oberfläche bedingt ist.

d. In der Regel bedient man sich zu den elektromagnetischen Versuchen *cylindrischer Leiter* von Metall, deren Dicke der Menge der durchströmenden Elektricität proportional gewählt wird, und wozu Kupferdrähte (sogenannte silberne Claviersaiten) wegen ihrer Biegsamkeit und Stärke am besten geeignet sind. In der Hauptsache ist es indefs gleichgültig, ob statt deren *Metallstreifen* oder *hohle Röhren* gewählt werden; indem der Unterschied in den Erscheinungen, welche sie zuweilen darbieten, durch anderweitige Ursachen herbeigeführt wird[1].

e. Dafs endlich auch die *Beschaffenheit des Metalles* bei gegebener Dicke und Länge der Drähte auf die elektromagnetische Wirksamkeit einen Einflufs haben müsse, liegt in der Natur der Sache. Allein auch hier fällt diese mit der Leitungsfähigkeit für die Elektricität zusammen, in welcher Hinsicht Davy[2] sie in folgender Ordnung vom besten Leiter anfangend an einander reihet: *Silber*, *Kupfer*, *Blei*, *Gold*, *Zink*, *Zinn*, *Platin*, *Palladium*, *Eisen*. Hiermit stimmen die durch v. Yelin[3] erhaltenen Resultate im Allgemeinen überein. Sind die Pole der Säule durch mehrere Leiter verbunden, so wird der Elektromagnetismus sich in dem kürzesten und besten Leiter in ungeschwächter Stärke zeigen, wenn derselbe alle Elektricität vollständig überzuführen vermag, durch bedeutende Vermehrung der Länge des letzteren aber, wenn er allein die Verbindung der elektrischen Pole macht, und z. B. mit einem Multiplicator von 100 Windungen verbunden ist, nach Pfaff[4] geschwächtere Wirkungen zeigen. Letzteres wird auch nach Poggendorf[5] dann der Fall seyn, wenn der Verbindungsdraht durch einen schlechteren Leiter der Elektricität, als *Graphit*, *Kohle*, *Schwe-*

1 Vergl. unten III. A. 4. u. 9.
2 Phil. Trans. 1821. II. G. LXXI. 250 ff.
3 G. LXVI. 324.
4 Der Elektromagnetismus S. 91.
5 Ebend. S. 92.

felkies u. dgl. unterbrochen ist; ein künstlicher Magnet, wie grofs auch seine Stärke seyn mag, ist in diesem Falle von *keinem* Einflusse. Auf gleiche Weise endlich werden auch flüssige Körper, welche den Verbindungsdraht unterbrechen, die elektromagnetischen Wirkungen um so mehr schwächen, je weniger und unvollkommener sie der Elektricität den Durchgang verstatten. Pfaff[1] hat sich sehr zweckmäfsig des Elektromagnetismus bedient, um unter dieser angegebenen Voraussetzung die elektrische Leitungsfähigkeit der verschiedenen Flüssigkeiten zu prüfen.

f. Es läfst sich hier noch eine Frage aufwerfen, welche bisher noch nicht in ihrem ganzen Umfange beantwortet, und überhaupt schwer zu beantworten ist, nämlich ob und in welchem Grade auch andere Substanzen, aufser den Metallen, in den Strom der galvanischen Elektricität gebracht, elektromagnetische Wirkungen zeigen. So interessant die Frage auch ist, so stehen einer Beantwortung derselben doch fast unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen, weil die Strecken, durch welche der Strom in der Flüssigkeit oder dem zu untersuchenden Körper geleitet wird, so lang seyn mufs, dafs man gegen den Einflufs der verbindenden Metalldrähte auf die Magnetnadel gesichert ist. Der Analogie nach und in Gemäfsheit der hierüber angestellten Versuche darf man mit Grunde schliefsen, dafs in allen solchen Körpern nur geringe magnetische Kräfte hervorgerufen werden, welche die Elektricität unvollkomman und in geringer Menge durch sich hindurchlassen. Hierbei ist der Zustand der Festigkeit oder der Flüssigkeit von gar keinem Einflusse; denn Glasröhren mit Quecksilber oder Rose'schem Metalle gefüllt setzten die Magnetnadel nach Davy[2] in starke Bewegung. Derselbe fand, dafs Kohle, als schlechter elektrischer Leiter, nur dann einige Wirkung auf die Magnetnadel äufserte, wenn sie den metallischen Verbindungsdraht in einer grofsen Fläche berührte, ein feiner Draht aber, durch ein Stück Kohle mit dem Leiter der galvanischen Elektricitat verbunden, zog auch bei der Einwirkung einer mächtigen Batterie kein Eisenfeilicht an, wenn er die Kohle unmittelbar berührte, sehr wenig aber wenn das Ende der Kohle mit einem Platinblech belegt und durch

1 Der *Elektromagnetismus* S. 96.
2 Phil. Trans. 1821. II.

dieses die Verbindung hergestellt war. DAVY konnte es ferner nie dahin bringen, daſs einer der besten galvanischen Leiter, nämlich geschmolzenes Kalihydrat Eisenfeilicht anzog, und damit getränkte Baumwollenfasern wurden von einem Magnete gar nicht angezogen. Stahlnadeln, welche vermittelst Kork auf Kaliauflösung schwammen, nahmen durchaus keine Polarität an, wenn der elektrische Strom durch diese Flüssigkeit geleitet wurde, und der einzige Beweis, daſs sich auch in ihr Magnetismus entwickele, lag in dem Einflusse derselben auf die Magnetnadel in dem Falle, wenn eingetauchte Metallflächen von bedeutender Ausdehnung sie mit der Volta'schen Batterie verbanden. Die Anziehung des Eisenfeilicht gehört indeſs schon unter die bedeutendsten elektromagnetischen Wirkungen, welche sehr starke Elektromotoren und eine gute Leitungsfähigkeit des Körpers voraussetzen. Daſs übrigens Flüssigkeiten, wenn ein Strom galvanischer Elektricität sie durchströmt, die Magnetnadel in Bewegung setzen, wurde gleich anfangs durch SEEBECK[1] beobachtet, und nach GROTTHUSS[2] geschieht dieses sogar durch einen mit Salzwasser hinlänglich getränkten Bindfaden. Diese übereinstimmenden Resultate führen also auf allen Fall zu der wichtigen Folgerung, daſs nicht bloſs die Metalle, sondern auch andere feste und flüssige Körper zur Erzeugung des Magnetismus vermittelst der Elektricität geeignet sind, wenn diese anders in genügender Menge dieselben zu durchströmen vermag. Dieser Schluſs läſst sich gar nicht oder nur unvollkommen auf die durch POGGENDORF[3] erhaltene Beobachtung gründen. Dieser legte nämlich die Zink- und die Kupferplatte in 6″ Entfernung von einander, bedeckte jede durch eine mit Salmiaklösung getränkte Tuchscheibe, und verband diese durch einen breiten, gleichfalls in Salmiakauflösung getauchten Streifen Tuch. Unter letzteren stellte er eine empfindliche Magnetnadel, und schloſs dann die Kette durch einen Multiplicator von 100 Windungen und gleichfalls mit einer Nadel versehen. Letztere zeigte eine merkliche Abweichung, erstere aber gar keine, ohne Zweifel deswegen, weil die geringe Menge der durchströmenden Elektricität hierzu nicht kräftig genug war, und erst eines

1 Berliner Denkschr. a. a. O. S. 383.
2 Allgem. Nord. Annalen VI. 146.
3 Pfaff: der Elektromagnetismus. S. 95.

Multiplicators bedurfte, um merkliche Wirkungen zu zeigen. Aufserdem wurde die elektromagnetische Wirkung durch die Breite des Tuchstreifens geschwächt, indem auch breite metallene Leiter einen geringeren Einflufs auf die Magnetnadel ausüben.

Will man diese interessante Frage abermals zum Gegenstande neuer Versuche machen, so ist an sich klar, dafs dazu kein aus zwei Elementen bestehender Apparat gewählt werden darf, weil die Spannung der Elektricität in diesem auf allen Fall zu geringe ist, um die nicht metallenen Leiter auf eine so grofse Länge zu durchdringen, dafs die Wirkung derselben auf die Magnetnadel mit genügender Sicherheit beobachtet werden könnte, und nur Säulen aus vielen Plattenpaaren sind hierzu geeignet. Als unbedeutenden Probeversuch benutzte ich selbst eine stehende Zink-Kupfersäule aus 36 zusammengelötheten Doppelplatten von 6 Z. Seite und 96 solchen von 5 Z. S. mit Salmiakwasser aufgebauet, um das Verhalten einiger flüssiger Leiter auf die Magnetnadel zu prüfen. Eine feine Magnetnadel erhielt hierbei über Glasröhren 4 Z. lang und 0,3 Z. weit mit concentrirter Schwefelsäure, mit rauchender Salpetersäure und mit gesättigter Kochsalzsolution gefüllt, die Enden durch Platindrähte in den Kreis der Säule gebracht, so starke Abweichung, dafs sie nur wenig geringer war, als über einem die Pole verbindenden Platindrahte.

Nach allen diesen Versuchen mufs ich schliefsen, dafs der Magnetismus in allen Körpern, durch welche die Elektricität strömt, mit einer der Intensität und Leichtigkeit dieser Durchströmung proportionalen Stärke hervorgerufen wird. Eben hieraus ergiebt sich aber, dafs einige Erscheinungen, z. B. das Anhängen des Eisenfeilicht nur an vollkommenen Leitungsdrähten beobachtet werden können, weil nur diese der grofsen Menge mit geringer Spannung versehener Elektricität zweielementiger Elektromotoren eine hinlängliche Leitung darbieten.

g. Auch die Luft, oder vielmehr der die Luft durchdringende elektrische Strom, wenn nicht eigentlicher die durch den elektrischen Strom fortgeführte Flamme ist als ein elektromagnetischer Leiter anzusehen, und zeigt in dieser Hinsicht Wirkungen, welche später genauer angegeben werden sollen[1].

---

1 Vergl. III. C. 17.

h. Wird der galvanische Leiter, auch der vollkommene, durch einen nach Verhältniſs der elektrischen Spannung unvollkommenen unterbrochen, z. B. Wasser, den thierischen Körper u. dgl., so verliert er seine elektromagnetische Kraft ganz oder zum Theil[1].

Die durch ein einziges Plattenpaar, wie groſs dasselbe auch seyn mag, hervorgebrachte galvanische Elektricität hat eine geringe Spannung, und durchdringt daher die Nichtleiter oder schlechten Leiter derselben nur unvollkommen oder gar nicht. Soll daher dieser Strom nicht unterbrochen werden, so müssen alle solche schlechte Leiter, wie dann sie auch seyn mögen, sorgfältig vermieden werden. Es genügt daher nicht, wie bei der Reibungs-Elektricität, sich der Ketten zur Verbindung zu bedienen, weil eine dünne Lage Oxyd oder Schmutz leicht die innige Berührung hindern kann, auch muſs man die Metalle, welche man in den Strom der Elektricität bringt, an den Stellen ihrer Berührung recht blank schaben. Das einfachste und sicherste Mittel, eine innige und ungehinderte Verbindung hervorzubringen, ist das Quecksilber, welches man in kleine Vertiefungen gieſst, und die blank geschabten Enden der Metalldrähte oder Streifen in dieses einsenkt. Oft genügt es auch schon, nur ein kleines Tröpfchen Quecksilber zwischen die Flächen zweier Metallstreifen zu bringen, durch welche der elektrische Strom ungehindert fortgeleitet werden soll. Weil aber das Metall auch in diesem Falle leicht mit Schmutz überzogen wird, und hierdurch die Fortleitung des elektrischen Stromes geschwächt oder ganz gehindert werden kann, so ist es nach Ampère[2] rathsam, allezeit vor dem Gebrauche des Apparates die Metallflächen etwas abzukratzen, damit die Verbindung derselben mit dem Quecksilber inniger werde. Für diejenigen Fälle endlich, in denen die Verbindung durch Quecksilber auf die angegebene Art nicht hergestellt werden kann, wenn z. B. der elektrische Strom durch zusammengeschlungene Drähte geleitet werden muſs, bedient man sich nach Faraday[3] des Mittels, sie mit etwas salpetersaurem Quecksilber

1 S. Boisgiraud in Ann. Ch. Ph. XV. 279.
2 Ann. Ch. P. XXVI. 392.
3 G. LXXII. 114.

zu reiben. Eisen und Stahl kann vorher in schwefelsaurer Kupfersolution mit etwas Kupfer überzogen werden.

Ungleich zahlreicher, als die wenigen jetzt beschriebenen elektromotorischen Apparate, sind diejenigen, vermittelst deren man die verschiedenen elektromagnetischen Erscheinungen beobachtet hat. Indem aber bei weitem der gröſste Theil derselben für gewisse individuelle Phänomene construirt ist, so scheint es mir am zweckmäſsigsten, sie bei der Erörterung dieser letzteren zugleich mit zu beschreiben.

III. Elektromagnetische Erscheinungen.

Die elektromagnetischen Erscheinungen sind ungemein zahlreich, und vermöge des lebhaften Interesses, welches sie erregten, und der groſsen Zahl derjenigen Experimentatoren, welche sich lange Zeit damit beschäftigten, ohngeachtet der Neuheit ihrer Entdeckung so unglaublich vervielfacht und so mannigfaltig modificirt, daſs es in der That Mühe kostet, dieselben zu ordnen und dadurch die Sache selbst in einer klaren Uebersicht darzustellen. Genau genommen lassen sich indeſs die gesammten Phänomene füglich auf das zuerst entdeckte Hauptphänomen zurückbringen, nämlich daſs *der Pol eines Magnetes, also auch die Spitze einer Magnetnadel um den Leitungsdraht der galvanischen Elektricität rundum bewegt wird.* Hierbei ist der Leitungsdraht der Elektricität unbeweglich, und die gemeinen, auf feinen Spitzen beweglichen Declinations- und Inclinationsnadeln zeigen dieses Gesetz zwar sehr leicht, aber nur unvollständig, indem eine vermöge der Art ihrer Befestigung nur in horizontaler Ebene bewegliche Nadel nur in dieser, und eine bloſs in verticaler Ebene bewegliche gleichfalls nur in dieser bewegt werden kann. Ist dagegen der Pol eines Magnetes fest, der Leitungsdraht der Elektricität aber beweglich, so wird *letzterer je nach den bedingenden Umständen sich in horizontaler oder verticaler Ebene bewegen, oder um den magnetischen Pol herumlaufen.* So gut aber der natürliche und künstliche Magnet dem *Einflusse des Erdmagnetismus* unterworfen ist, muſs dasselbe auch mit dem *magnetisch gemachten Leitungsdrahte* der Elektricität der Fall seyn, und eben so müssen *zwei solche Drähte einen analogen Einfluſs auf einander ausüben, als welcher zwischen zwei Magneten* statt findet. Endlich muſs

der auf magnetischen Stahl einwirkende Leitungsdraht seine magnetische Kraft auch gegen *unmagnetisirten Stahl und Eisen* äufsern, wenn anders der Magnetismus desselben identisch ist mit demjenigen, welcher sonst mit diesem Namen bezeichnet wird. Wäre er letzteres nicht, so würde dieses die Untersuchung ausnehmend erschweren, indem dann im Elektromagnetismus eine bisher ganz unbekannte Potenz zum Vorschein käme. Indefs ist dieses nicht der Fall, da der Leitungsdraht vielmehr Eisenfeilicht anzieht, und Stahl magnetisch macht, sich also als einen wirklichen Magnet zeigt.

Diese wenigen Sätze müssen aus theoretischen Gründen alles dasjenige in sich begreifen, was der Elektromagnetismus leisten kann, wenn man darunter den durch Elektricität hervorgerufenen Magnetismus versteht. Wirklich läfst sich auch bei weitem der gröfste Theil der Phänomene unmittelbar hierauf zurückführen, und die übrigen, bei denen dieses auf den ersten Blick der Fall nicht zu seyn scheint, reihen sich doch bei genauerer Untersuchung der einen oder andern dieser angegebenen Classen an. Ich werde mich daher bemühen, die Erscheinungen, welche zum Elektromagnetismus gehören, in ihrer einfachsten Gestalt darzustellen, dabei diejenigen Gelehrten namhaft machen, welche die einzelnen derselben zuerst entdeckten, nebenbei auf die spätern Untersuchungen und genaueren Erörterungen der schon bekannten Phänomene verweisen, und unter der grofsen Menge der mannigfaltigen Apparate nur diejenigen beschreiben, welche den beabsichtigten Zweck zu erreichen dienen können, ohne zugleich zu kostbar oder zu sehr zusammengesetzt zu seyn, damit auch minder geübte Künstler sie verfertigen können, und die Kosten ihrer Anschaffung mäfsige Summen nicht übersteigen.

A. Wirkungen des elektrischen Leiters auf die Magnetnadel.

1. Wenn man den Verbindungsdraht der Elektromotoren im magnetischen Meridiane *über* der Axe der ruhenden Magnetnadel mit dieser in einer verticalen Ebene ausspannt, so dafs der elektrische Strom vom Kupfer ausgehend von Norden nach Süden strömt, so wird im Augenblicke der Schliessung des elektrischen Kreislaufes der Nordpol der Nadel nach Osten abweichen. Die Abweichung wird durch die Oscillation der Nadel

im Momente der Schliefsung stärker, ihre Gröfse aber hängt im Allgemeinen von der Stärke des elektromotorischen Apparates ab, und erreicht auf allen Fall für den Zustand der Ruhe bei einem Winkel von 90° ihr Maximum. Ein Plattenpaar von 4 bis 6 Z. Seite, im Maximo seiner Wirksamkeit, bringt eine leichte 2 bis 3 zöllige Nadel schon zum Durchlaufen eines ganzen Kreises. Ist dagegen der Draht in der angegebnen Richtung *unter* der Nadel ausgespannt, so ist die Abweichung gleich stark westlich. Lässt man die elektrische Kette geschlossen, so kommt in beiden angegebenen Fällen die Nadel nach einigen Oscillationen zur Ruhe, behält aber auch dann eine der Stärke des Elektromotors proportionale Abweichung von 5; 10 bis 30 Graden und noch darüber. Ist die Richtung des elektrischen Stromes die entgegengesetzte, so sind die Abweichungen der Magnetnadel zwar gleich stark, aber den eben angegebenen entgegengesetzt, und indem diese Umkehrung der Erscheinungen allgemein statt findet, so ist es überflüssig, derselben in jedem einzelnen Falle besonders zu gedenken[1]. Die angegebenen Erscheinungen werden nicht abgeändert, wenn man den Leitungsdraht vor seiner horizontalen Ausspannung über oder unter der Nadel, oder auch bei seiner Zurückführung zum Zinke in die vielfachsten Schleifen und Biegungen windet, und bald rückwärts bald vorwärts hin und her führt, ein allerdings höchst merkwürdiger Umstand, welcher beweiset, dafs durch alles dieses keine Störung weder des elektrischen Stromes noch der erzeugten magnetischen Wirksamkeit entstehen kann. Führt man dagegen den elektrischen Leitungsdraht in einer horizontalen Ebene und parallel mit der Axe der Magnetnadel neben ihr hin, sowohl an jeder der beiden Seiten derselben als auch den Strom der Elektricität von Nord nach Süd angenommen oder umgekehrt, so wird in keinem dieser vier Fälle, mindestens bei nicht zu grofsen Apparaten und bei Declinationsnadeln, welche auf einer Spitze balancirt sind, eigentliche Bewegung, sondern nur eine Art von Unruhe erfolgen. Führt man dagegen den

---

1 Dafs bei Anwendung eines jeden, aus mehr Plattenpaaren bestehenden Volta'schen Apparates die entgegengesetzte Abweichung beobachtet wird, ist schon erwähnt, und wird hier überall übergangen, weil es leicht supplirt werden kann, und zu elektromagnetischen Versuchen vorzugsweise nur die angegebenen, aus zwei Metallen bestehenden, Apparate anwendbar sind.

elektrischen Leitungsdraht neben einer im magnetischen Meridiane balancirten Inclinationsnadel vorbei, beiden Axen parallel laufend, und die Richtung des elektrischen Stromes von N. nach S. angenommen, so wird die Nordspitze der Nadel sich *herabwärts* bewegen, wenn der Draht an der Ostseite derselben hingeführt ist, dagegen *aufwärts*, wenn er sich an der Westseite derselben befindet. Daſs keine östliche und westliche Abweichung dieser Inclinationsnadel statt finden kann, wenn der Draht über oder unter derselben hingeführt ist, läſst sich aus der Art ihrer Aufhängung leicht erklären.

Die hier angegebenen Erscheinungen wurden zuerst durch den berühmten Entdecker derselben, Oersted, bekannt gemacht[1], und unmittelbar darauf durch de la Rive[2], Schweigger[3], Mayer[4], Ampère[5], Gilbert[6], v. Yelin[7], Poggendorf[8] und viele andere wiederholt. Es können dazu alle eben angegebene elektromotorische Apparate benutzt werden, am bequemsten die unter No. 1 und 2 beschriebenen kleinern; zu den Magnetnadeln aber wählt man willkürlich die gerade zur Hand seyenden längeren oder kürzeren, auf einer Spitze balancirten Declinationsnadeln, am besten die kleinen 2 bis 4 Z. langen, und die gewöhnlichen Inclinationsnadeln. Will man aber ein hierzu vorzüglich geeignetes Instrument benutzen, hauptsächlich um für alle die genannten Erscheinungen an der nämlichen Nadel zu beobachten, so dient hierzu die *astatische Magnetnadel*, und zwar vorzugsweise die durch G. G. Schmidt[9] angegebene sehr zweckmäſsig für diesen Gebrauch construirte, womit für alle eben beschriebene Fälle die Grade der Abweichung sowohl für die Oscillationen als auch für den Zustand der Ruhe genau gemessen werden können[10]. Interessante Ver-

---

1 Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticam. Hafniae 21. Jul. 1820. 8.

2 Bibl. univ. XIV. 281.

3 Schweigg. Journ. XXXI. 1 u. 35 ff.

4 Gött. Gel. Anz. 1820. No. 171.

5 Ann. Ch. et Phys. XV. 59.

6 Ann. LXVI. 331.

7 G. LXVI. 395.

8 Erman: Umrisse u. s. w. S. 105. Isis. Jahrg. 1821.

9 G. LXX. 243.

10 Vergl. *Magnetnadel, astatische*.

suche mit derselben sind theils durch den Erfinder selbst[1], theils durch Pfaff[2] und andere angestellt. Auch Ampère hat die Construction eines solchen Apparates angegeben[3], welcher im Wesentlichen jenem gleich ist, in einigen Einzelnheiten mir aber minder zweckmäſsig scheint. Der hierher gehörige Zweck der auch für andere Bestimmungen tauglichen Nadel ist dieser, eine Magnetnadel zu haben, welche ihres eigenen Magnetismus ungeachtet dem Einflusse des tellurischen Magnetismus nicht unterworfen ist. Dieses erreicht man dadurch, daſs man eine Magnetnadel sehr beweglich auf einer festen Axe macht, welche letztere genau in die Richtung der Inclinationsnadel gestellt werden kann. Indem sich dann die Nadel bloſs in einer Ebene bewegt, welche auf die ihr durch den tellurischen Magnetismus gegebene Richtung senkrecht ist, so kann letzterer keinen weiteren Einfluſs auf sie ausüben. Hiervon überzeugt man sich durch den Versuch, ob die so gestellte Nadel dann in jeder ihr gegebenen Lage ruhet.

In vielen Fällen, namentlich wenn man sehr geringe elektromagnetische Wirkungen vermittelst der Multiplicatoren erforschen will, kann indeſs eine solche Nadel weniger vortheilhaft in Anwendung gebracht werden, und man bedient sich daher eines andern unlängst bekannten Mittels, um eine für diesen Zweck vorzugsweise geeignete astatische Nadel zu erhalten, indem man zwei gleich starke feine Magnetnadeln mit entgegengesetzter Richtung ihrer gleichnamigen Pole an einer festen Axe Fig.
befestigt, und leicht schwebend aufhängt. Die Zeichnung giebt 62.
ohne weitere Beschreibung eine deutliche Vorstellung von derselben, und es möge bloſs noch bemerkt werden, daſs sie anstatt des Balancirens auf der feinen Spitze *a* noch feiner an einem ungezwirnten Seidenfaden oder in geeigneten Fällen selbst an einem Spinnefaden schwebend aufgehangen werden kann. Um die magnetische Kraft beider Nadeln bleibend zu erhalten, thut man wohl, die Nordpole derselben für gewöhnlich nach einer Seite zu drehen, und bloſs für die Dauer der Versuche ihnen

---

1 G. LXVII. 141.

2 Der Elektromagnetismus. S. 41.

3 Darstellung der neuen Entdeckungen über die Elektricität und den Magnetismus u. s. w. durch Ampère und Babinet. A. d. Fr. Leipz. 1822. 8. S. 34. Ann. Chim. et Phys. XV. 198.

eine entgegengesetzte Richtung durch Umdrehen der einen auf der gemeinschaftlichen Axe zu geben.

Ein drittes Mittel, den Einfluss des tellurischen Magnetismus auf die gebrauchten Nadeln aufzuheben, wandten Biot und Savart an, als sie das Verhältniſs der Entfernungen zu der Stärke der magnetischen Repulsion eines galvanischen Leiters untersuchten. Dieses besteht darin, daſs man der Magnetnadel einen starken Magnet in derjenigen genau abgemessenen Entfernung nähert, in welcher sein magnetischer Einfluſs den der Erde vollständig aufhebt. Ob man diesen Punct erreicht habe, kann man prüfen, indem man aus gröſserer Ferne den Magnet nähernd die in gleichen Zeiten erfolgenden Schwingungen der Nadel beobachtet, welche mit zunehmender Nähe stets langsamer werden, und endlich verschwinden. Der Magnet wird dann in diejenige Entfernung gebracht, in welcher die Schwingungen der Nadel langsam genug sind, um den Einfluſs des Erdmagnetismus als verschwindend anzusehen[1].

2. Man kann diese bisher beschriebenen sämmtlichen Erscheinungen vermittelst eines von mir angegebenen bequemen und wohlfeilen Apparates darstellen, welcher noch zu andern für die Theorie des Elektromagnetismus nicht unwichtigen Zwecken dient, und daher hier aufgenommen werden möge[2], und obgleich die dazu gewählten Dimensionen willkürlich sind, so behalte ich zur leichteren Uebersicht doch diejenigen bei, wonach das von mir gebrauchte Exemplar ausgeführt ist. In dem
Fig. 63. lothrechten Durchschnitte der Zeichnung ist a b ein flaches Brett von hartem Holze, 18 Par. Z. lang und 8 bis 9 Z. breit, wonach die übrigen Dimensionen der Kürze wegen leicht geschätzt werden können. In einer, dieses Brett in zwei gleiche Hälften theilenden Linie sind die beiden Glassäulen v, v′ eingelassen, welche oben eine messingne Fassung mit einem quer liegenden messingnen Plättchen tragen, 0,3 Z. breit und 1 Z. lang. Ueber diesen liegen zwei ganz gleiche messingne Plättchen l l′, den ersten parallel, und beim Herablassen sie deckend, an beiden Enden mit einer Schraube so versehen, daſs ein beliebiger Metalldraht zwischen die Plättchen gelegt, und durch Anziehen der oben mit einem Blatte versehenen Schrauben befestigt wer-

1 Biot Précis élément. de Phys. Par. 1824. II. vol. 8. II. 708.
2 Vergl. G. LXX. 141.

den kann. Jede Fassung hat oben einen kleinen messingnen Behälter f, f' mit einer Vertiefung, worin sich etwas Quecksilber befindet, aus welchem an jeder Seite ein oben gekrümmter Messingdraht α, γ frei mit dem unteren Ende in eine im Brette befindliche, gleichfalls mit Quecksilber gefüllte Vertiefung herabgeht; und um eine etwa mögliche Leitung der Elektricität durch das Brett zu verhüten, ist dasselbe auf seiner ganzen Oberfläche und vorzüglich in den erwähnten Vertiefungen, mit Bernsteinfirnis überzogen. In die genannten Vertiefungen sind ferner die beiden krummgebogenen Enden e, e' der Drähte β, δ herabgelassen, welche in einer Rinne im Brete liegen, und jeder durch drei kleine Haken in derselben so festgehalten werden, dafs nichts über die Oberfläche des Brettes hervorragt. Sind die gebrauchten Drähte abgenutzt, oder will man sie mit andern vertauschen, so kann man diese leicht unter den Häkchen oder Klammern hinschieben, bei e, e' etwas krumm biegen und in das Quecksilber eintauchen. Die Drähte laufen verlängert nach K und Z hin, und sind mit ihrem andern Ende der eine an die eine Seite des kupfernen Kastens, der andere an das eine der Zinkplatte angelöthet, wodurch also der elektrische Kreislauf vom Kupfer zum Zink und durch die leitende Flüssigkeit wieder zum Kupfer hergestellt ist. Ein hölzerner Rahmen g, g', 14 Z. lang und 8 Z. breit, welcher auf dem Brete ruhet, trägt in einem Falz 4 eingekittete Tafeln von hellem Glase, deren beide schmälere mit m, m' bezeichnet sind. Da wo sie mit ihren Enden zusammenstofsen, sind sie inwendig und auswendig mit schmalen Papierstreifen zusammengeklebt, und bilden sonach einen oben und unten offenen Kasten, um die Magnetnadel bei feinen Versuchen gegen den unvermeidlichen Luftzug zu sichern. Unten wird dieser Glaskasten von selbst durch das Aufsetzen auf das Brett geschlossen, der obere Rand desselben aber ist theils der grösseren Festigkeit wegen, theils um eine weiche Unterlage zu bilden, mit einem nach beiden Seiten übergeschlagenen, etwa 0,75 Z. breiten Riemen von Gemsenleder überklebt, auf welchem zwei oder drei verschiebbare Scheiben von Spiegelglase n, n' ruhen und oben eine Bedeckung des Kastens bilden, einige Zolle länger und breiter, als dieser ist. Durch die kleinen Zwischenräume dieser Spiegelglasscheiben, da wo sie an einander stofsen, werden die Magnetnadeln an ungezwirnten Seidenfäden aufgehangen herabgelassen, durch ein

kleines, an dem verlängerten Faden hängendes, über die Seite der Scheiben herabgelassenes Gegengewicht balancirt, oder durch ein gröfseres, auf den Scheiben ruhendes Stück Blei am Herabsinken gehindert. Uebrigens lassen sich die Nadeln zwischen den Ritzen der Scheiben nach der einen, und durch das Verschieben der sämmtlichen Glastafeln auf dem weichen Leder des Glaskastens nach der andern Seite hin bewegen. Der Kasten hat unten am Rahmen zwei Ringe, an denen er aufgehoben, und nach Befestigung der Drähte wieder aufgesetzt werden kann, auch läfst sich derselbe nach Befinden auf dem Brette a b rechts oder links, vorwärts und rückwärts schieben, um das Verhalten der Nadel in allen verschiedenen Lagen gegen den elektrischen Leiter zu untersuchen. Endlich steht auch das ganze Brett a b mit seinen vier Füfsen auf einem doppelt so breiten Brette, als es selbst ist, welches dem Apparate zur Unterlage dient, auf seiner einen Hälfte den beschriebenen Apparat trägt, auf der andern Hälfte aber einen zur Erzeugung der Elektricität dienenden oben II. A. 2. beschriebenen Kasten, mit den daselbst erwähnten Trägern und Gabeln, um die Glasröhre, woran die Zinkscheibe befestigt ist, hineinzuhängen. Das letztere gröfsere Brett aber, welches deswegen gewählt ist, damit der Apparat selbst nicht durch die gebrauchten Flüssigkeiten beschmutzt werde, und um verschiedene Drähte und sonstige Sachen darauf zu legen, ruhet auf einem 2 Z. hohen und 12 bis 18 Z. im Durchmesser haltenden Cylinder von Holz, vermittelst dessen das Ganze auf jeden beliebigen Tisch gesetzt, und im Azimuth herumgedrehet werden kann[1].

Bei der Anwendung dieses Apparates zeigen sich die so eben unter No. 1. beschriebenen Erscheinungen in etwas verschiedener Gestalt. Gebraucht man nämlich zuerst die in der Figur gezeichnete horizontale Magnetnadel, welche 2 bis 3 Z. lang aus einer an beiden Seiten zugespitzten, in der Mitte fein durch-

---

1 Diesen Apparat habe ich unter verschiedenen anderen aufgenommen, theils weil er wohlfeil, theils weil er zur Anstellung sehr feiner Versuche mit verschiedenen Apparaten wegen des gegen Luftzug schützenden Glaskastens geeignet ist. Der neueste von Ampère vorgeschlagene allgemeine Apparat ist unten beschrieben. Unter die zweckmäfsigsten einfachen gehört sonst noch vorzugsweise der von Pfaff in seinem mehrerwähnten Werke angegebene, aber ungleich kostbarere.

bohrten, Uhrfeder leicht verfertigt und an einem ungezwirnten Seidenfaden aufgehangen werden kann, so wird diese über und unter dem Drahte schwebend die erwähnten Abweichungen nach Osten und Westen gleichfalls zeigen. Man kann zwar die Nadel nicht völlig mit ihrer Axe unter die Axe des Leitungsdrahtes in eine verticale Ebene bringen, allein dieses ändert den Erfolg nicht ab, da der Faden ohne wesentlichen Nachtheil die Seite des Drahtes berühren darf. Soll hierbei die Gröfse der Abweichung in Graden gemessen werden, so bediene ich mich eines auf Spielcharten-Papier, oder noch besser auf eine sehr dicke und pergamentartige Sorte englischen Papiers (sogenanntes *Bristol stamp*) gezeichneten, 1 bis 2 Lin. breiten, und in Grade getheilten Kreises, welchen ich mit feinen Fädchen auf dem Leitungsdrahte, oder selbst an den Spitzen der Nadel befestige. Der zwischen l, l′ eingespannte Draht bekommt in diesem letzteren Falle gleichfalls ein aufgebundenes Stückchen Papier mit einer Linie, wodurch beim Stillstande der Nadel der Nullpunct der Theilung, und bei ihrer Abweichung die Gröfse dieser letzteren in Graden bezeichhet werden. Um indefs die Erscheinungen des Elektromagnetismus im Allgemeinen zu beobachten, bedarf es der Messung und des hierzu dienenden Ringes nicht. Befindet sich in diesem Falle der Kupferpol im Norden, und ist somit die elektrische Strömung von N. nach S. gerichtet, so wird die über dem zwischen l, l′ ausgespannten Drahte schwebende Nadel westlich abweichen. Bringt man sie dann neben den Draht an die Westseite, beider Axen in einer horizontalen Ebene liegend, so wird bei der Schliefsung der galvanischen Kette die Nordspitze stark herabgezogen werden, in ihrer gröfsten Tiefe aber schon das Bestreben nach einer östlichen Abweichung zeigen. Läfst man die Nadel so tief herab, dafs sie sich frei unter dem Drahte hin bewegen kann, so ist ihre Abweichung östlich, und bringt man sie endlich an die Ostseite des Drahtes, beider Axen in einer horizontalen Ebene liegend, so wird die Nordspitze beträchtlich in die Höhe gehoben werden, bei ihrer gröfsten Erhebung aber gleichfalls das Bestreben nach westlicher Abweichung äufsern. Es versteht sich von selbst, dafs die Bewegung der Südspitze der Nadel der angegebenen gerade entgegengesetzt sey.

3. Nicht so sehr die hier mitgetheilte Beschreibung, als noch weit mehr der Anblick der Erscheinungen selbst zeigt das

Bestreben der Pole der Magnetnadel, *sich um den horizontal ausgespannten Leitungsdraht im Kreise herumzubewegen.* Schwierig ist es hierbei genau zu unterscheiden, ob die individuelle elektromagnetische Wirksamkeit in dem Leitungsdrahte so vertheilt ist, daſs, wenn man sich einen um die Axe desselben gezogenen Kreis denkt, und diesen in 360 Grade theilt, die in diesem befindliche Nordspitze genau in einem Quadranten östliche, in dem gegenüber liegenden westliche Abweichung, und in den beiden seitwärts befindlichen das Bestreben einer aufwärts und herabwärts gehenden Bewegung zeigt. Um diese für die Theorie nicht ganz unwichtige Frage zu beantworten, legte ich auf die Träger zwischen l,l' einen 1,5 Par. Lin. im Durchmesser haltenden völlig geraden Draht, damit irgend eine Krümmung desselben auf die Resultate keinen Einfluss haben möchte, schob auf denselben eine mit mehreren concentrischen getheilten Kreisen versehene Scheibe, deren Fläche auf der Axe des Drahtes senkrecht war, balancirte die Nadel völlig horizontal, lieſs im Zustande der Ruhe ihre Spitze den gewählten Kreis der Scheibe fast berühren, um gewiſs zu seyn, daſs sie sich stets in gleichem Abstande von der Axe des Drahtes, beiden Axen einander parallel, befände, und richtete die Scheibe so, daſs die verticale Ebene durch die Axe des Drahtes durch den 45sten Grad der Kreistheilung ging. Der Kupferpol befand sich in Norden, und die Strömung der Elektricität war somit nach Süden gerichtet. Die Resultate der Versuche waren durchaus constant, und zeigten überall keine Abweichung von einander. Berührte die Nordpolspitze in 45° den Kreis, oder lag ihre Axe in einer verticalen Ebene mit der Axe des Drahtes, so war ihre westliche Abweichung dem Augenmaſse nach völlig horizontal; wurde sie aber westlich bis zum 90sten Grade gerückt, wobei sie sich in allen Kreisen noch über der horizontalen, die Oberfläche des Drahtes berührenden Ebene befand, so zeigte sie unverkennbar eine herabgehende Bewegung, obgleich sie nach der ersten Senkung sogleich in einer horizontalen Ebene zu schwingen fortfuhr, aus dem natürlichen Grunde, weil auch die an einem Seidenfaden balancirten Nadeln weit leichter in dieser, als in der verticalen Ebene oscilliren. Der Erfolg war ganz der nämliche, wenn die Nordspitze den 180sten, 270sten und 360sten Grad der Kreise berührte, auch konnte ich, mit Ausnahme einiger Verminderung in der Wirkung, kei-

nen Unterschied wahrnehmen, wenn die Kreise weiter waren, folglich die Axe der Nadel sich in einem gröſseren Abstande von der Axe des galvanischen Leiters befand. Statt des gebrauchten Messingdrahtes schob ich darauf einen flachen Zinkstreifen, 0,8 Z. breit und 0,3 Lin. dick zwischen die Trägerscheiben II', allein die Bewegungen der Nadel waren denen durchaus gleich, welehe der runde Draht erzeugt hatte, der Streifen mochte mit seiner breiteren Fläche horizontal oder vertical liegen.

Den hier erörterten Erscheinungen analog sind diejenigen, welche ich rücksichtlich des Verhaltens einer kleinen Magnetnadel (ich bediente mich einer stark magnetisirten englischen Nähnadel) beobachtet habe, als ich diese mit ihrer Nordspitze lothrecht über den Leitungsdraht oder zu beiden Seiten desselben höher und niedriger herabsenkte [1]. Die erhaltenen Resultate zeigen im Allgemeinen das Bestreben der magnetischen Pole, sich im Kreise um den Leitungsdraht zu bewegen, sie deuten darauf hin, daſs die um den elektrischen Leitungsdraht anzunehmenden Bogen, in welchen der Pol zur östlichen oder westlichen Abweichung sollicitirt wird, um 90° von demjenigen abstehen, worin sie das Bestreben nach einer aufwärts und niederwärts gerichteten Bewegung äuſsert; jedoch läſst sich auf diese Versuche nicht mit Sicherheit ein Schluſs gründen, weil der eigentliche Sitz der gröſsten magnetischen Intensität in einer solchen Nadel nicht sicher bestimmbar ist. Uebrigens fallen diese Erscheinungen mit denjenigen zusammen, welche von verschiedenen Physikern am lothrechten Leitungsdrahte der galvanischen Elektricität gleich anfangs beobachtet wurden, und sogleich näher angegeben werden sollen.

4. Die bisher erzählten Erscheinungen erfolgen auf gleiche Weise, man mag einen dickeren oder dünneren Draht anwenden, der Leiter mag rund, von quadratischem Durchschnitte, bedeutend breiter als dick, massiv oder hohl seyn. Eine runde und eine vierkantige massive Stange zeigten mir mit gleichgestalteten hohlen gleiche Wirkungen bei der Anwendung des mehr erwähnten hleinen Elektromotors. Bedient man sich sehr mächtiger Apparate, so muſs nothwendig eine durch das elektrische Leitungsvermögen des gebrauchten Leiters bedingte Verschiedenheit sichtbar werden, und eben so ist nicht zu erwar-

1 G. LXX. 156.

ten, dafs übermäfsig weite hohle Röhren bei kleinen Elektromotoren nicht endlich einen Unterschied der Wirkung zeigen sollten. Wird ferner statt eines Drahtes ein breites Blech gewählt, so erleiden die angegebenen Erscheinungen einige Modification. Bei der Anwendung ungleich breiter Bleche von Zink nämlich, 6,5 Z.; 3,25 Z.; 1,62 Z.; 0,81 Z.; 0,4 Z. und 0,2 Z., sämmtlich 0,4 Lin. dick, zeigte die Nadel bei den breitesten Stücken, in der horizontalen Lage derselben, eine merklich schwächere Einwirkung auf die Magnetnadel, und aufserdem war zwar die Bewegung der letzteren dann genau horizontal, wenn sie über der Mitte der Bleche schwebte; wurde sie aber mehr an die eine oder die andere Seite gerückt, so ging die Bewegung bei allen Blechen, welche über einen Zoll breit waren, auch dann schon in eine verticale über, wenn die Nadel noch über der Fläche der Leiter schwebte, und bei dem 6,5 Z. breiten Bleche schlug die vertical herabgezogene Spitze der Magnetnadel hörbar auf das Metall auf. Noch auffallender zeigt sich dieses, wenn man die erwähnten Bleche mit ihrer Ebene vertical stellt, in welchem Falle namentlich bei dem 3,25 Z. breiten die an der Seite derselben schwebende Nadel in der Mitte zwar eine genau verticale Bewegung erhielt, bis auf 0,25 Z. aber von der oberen oder unteren Kante abstehend sich völlig horizontal bewegte[1]. Mit gröfseren Elektromotoren habe ich diese Versuche nicht wiederholt, glaube aber nicht, dafs diese einen Unterschied in der Wirkung erzeugen würden.

5. Führt man den elektrischen Leitungsdraht lothrecht vor der Spitze der Declinationsnadel herab, oder bequemer, wenn man einen 0,75 Lin. dicken Draht in dem (oben No. 2) beschrie-
Fig. 63. benen Apparate in das Quecksilber bei e herabsenkt, bei f mit einem Faden festbindet, in lothrechter Richtung zwischen den bedeckenden Glasplatten durchführt, oben aber mit einem feineren, zum Kupfer des Elektromotors herabgehenden Drahte verbindet, also auf diese Weise die ununterbrochene Fortleitung des elektrischen Stromes durch den lothrechten Draht erhält, die Spitze der horizontal hängenden Nadel demselben nähert, diese anfängliche Entfernung der Spitze stets beibehält,

1 G. LXXI. 29. Aehnliche noch ausgedehntere Versuche mit nahe übereinstimmenden Resultaten von Seebeck findet man in den Abhandlungen der Berliner Societät der Wissenschaften. Jahr 1820—21. S. 330.

während man den Apparat um die Axe des lothrechten Drahtes im Azimuth in einem ganzen Kreise drehet, und in beliebigen Graden dieses Kreises die Abweichung der Nadel beobachtet; so wird man sich vollständig überzeugen, dafs überall die Abweichung der Nadel gleich und gleich stark ist. Hieraus geht also hervor, *dafs der Pol eines Magnetes um den lothrecht stehenden Leitungsdraht der galvanischen Elektricität, allerorten mit gleicher Kraft bewegt, in einem ganzen Kreise herumläuft* [1]. Um diesen wichtigen Satz im Grofsen und mit Vermeidung eines jeden Einflusses des über und unter der Nadel hingehenden, überhaupt des horizontal liegenden, Drahtes zu prüfen, habe ich ein grofses Gestell aus Latten zusammen gesetzt, einen viereckigen Rahmen, dessen Basis 12 Par. F. die Höhe aber 14 F. betrug. Auf einem an dem einen Ende der Basis aufserhalb hervorragenden Brete stand der kupferne Kasten, wovon der Leitungsdraht ausging, und um den ganzen Rahmen geführt war, worauf dann am andern Ende desselben die festgelöthete Zinkscheibe durch einen Gehülfen in die Säure des kupfernen Kastens getaucht, und sonach die galvanische Kette geschlossen wurde. An derjenigen lothrecht stehenden Latte, woran sich der Elektromotor nicht befand, war der Draht 4 Z. weit nach Aufsen abstehend und hinlänglich gespannt, trug in der Mitte seiner Länge einen durch Reibung auf ihm festsitzenden Arm von Holz, welcher um denselben in einem auf seine Axe lothrechten Kreise ganz herum gedrehet werden konnte, und von dessen anderem Ende die Magnetnadel an einem ungezwirnten Seidenfaden herabhing, also mit ihrer Spitze perpendiculär gegen die Axe des Drahtes gerichtet war. Der ganze Apparat wurde bald rückwärts bald vorwärts um die Axe des eben genannten lothrechten Drahtes durch einen ganzen Azimuthalkreis herum gedrehet, und in den verschiedensten Winkeln die Abweichung der Magnetnadel geprüft, allein das angegebene Gesetz fand ich durchaus bestätigt. Oersted [2] hat mit einem ähnlichen Apparate diesen Satz gleichfalls bewährt gefunden, und er kann daher als ein unbestreitbarer Hauptsatz in der Lehre des Elektromagnetismus betrachtet werden. Ist

1 Poggendorf in Isis 1821. I. 687. Meine Versuche bei. G. LXX. 159. u. v. a.

2 Ann. of Phil. 1822. Febr. G. LXXIII. 278.

übrigens die Richtung des elektrischen Stromes so, dafs er vom Kupfer aus über die Basis hinläuft, dann in die Höhe geht, auf der oberen Latte des Rahmens durch den Draht zurückkehrt, und herabwärts gehend dem Zinke zugeführt wird, so ist die Abweichung der Nordspitze östlich. Wird der hölzerne Arm mit der Magnetnadel um 180° im Horizonte herum gedrehet, so dafs die Südspitze der Nadel gegen den Draht gerichtet ist, so wird die Richtung des Drahtes gegen diese die entgegengesetzte, und da ihre Bewegung allezeit derjenigen der Nordspitze entgegengesetzt ist, so mufs ihre Abweichung jetzt gleichfalls östlich seyn, wie dieses die Erfahrung bestätigt.

Die Versuche zur Auffindung der Wirkungen eines lothrechten galvanischen Leiters wurden gleich im Anfange der Bekanntwerdung dieser wichtigen Entdeckung von Oersted selbst angestellt, durch die Genfer Physiker, durch Ampère und andere wiederholt, an vollständigsten aber durch Pfaff[1] und Faraday[2]. Es zeigte sich hierbei eine anscheinende Anomalie, welche viel besprochen wurde, gegenwärtig aber, nach deutlicherer Einsicht der Sache und also auch in Gemäfsheit der von mir gewählten Darstellung wegfällt, weswegen es genügen wird, das Ganze nur kurz zu berühren, ohne die Resultate der vielen Versuche einzeln anzugeben[3]. Es sey zu diesem Ende
Fig. 64. aa' der horizontale Durchschnitt des lothrechten Leitungsdrahtes, bei welchem die ihn umkreisende Richtung des ablenkenden magnetischen Stromes, oder vielmehr der um ihn in einem Kreise herum laufenden Nordpolspitze der Magnetnadel durch die beiden Pfeile angezeigt ist. Ferner werde angenommen, jedoch ohne dasjenige hierdurch bestimmen zu wollen, was anderweitige Erfahrungen hierüber als ausgemacht darthun mögen, dafs die stärkste magnetische Polarität sich genau in der Spitze der Magnetnadel $\alpha\beta$ befinde, so wird dieselbe in der Lage, welche die Zeichnung angiebt, die durch den vor ihrer Spitze befindlichen Pfeil gleichfalls angedeutete Abweichung erhalten, die wir die westliche nennen wollen, sie mag in der durch $\alpha\beta$ angedeuteten verticalen Ebene dem Drahte mehr genähert, oder weiter von demselben entfernt werden. Wird die Nadel seit-

1 a. a. O. S. 55.
2 G. LXXI. 124.
3 Vergl. oben No. 3 am Ende.

wärts geschoben und weiter vorgerückt, so dafs sie eine mit $\alpha\beta$ parallele Lage beibehaltend die Mitte des Drahtes nicht erreicht, so wird die Spitze in a angezogen, in a' aber abgestofsen werden. Kommt aber der Mittelpunkt ihres eigenen Magnetismus genau dem Mittelpuncte des Durchschnittes des Leitungsdrahtes gegenüber, mithin genau in die Mitte zwischen die beiden gleich starken und einander entgegengesetzten elektromagnetischen Strömungen (oder Bewegungskräfte) zu liegen, so mufs sie nothwendig an jeder Seite des Drahtes, also in a und a' ruhen; den einen Fall hiervon giebt die Nadel $\alpha' \beta'$ an. Wird aber die Nadel noch weiter vorgerückt, so dafs sie an beiden Seiten die an der einen durch $\alpha'' \beta''$ ausgedrückte Lage erhält, so mufs ihre Bewegung die entgegengesetzte werden, also die Anziehung in Abstofsung übergehen, und umgekehrt. Dafs der Sitz des Centralpunctes des Magnetismus in der Nadel die Entfernung bestimme, wie weit die Nadel vorgerückt werden mufs, um die entgegengesetzte Wirkung zu erzeugen, versteht sich von selbst[1].

6. Wenn man den Leitungsdraht der Elektricität in einer horizontalen Ebene vor der Spitze einer Magnetnadel so hinführt, dafs die Axen beider lothrecht auf einander gerichtet sind, so wird eine auf einer Spitze balancirte Nadel nur einige Unruhe zeigen können, eine am ungezwirnten Seidenfaden hängende aber, oder eine Inclinationsnadel wird sich aufwärts und abwärts bewegen, und zwar folgt aus No. 2, dafs die Bewegung aufwärts gerichtet seyn mufs, wenn der Kupferpol sich im Osten befindet, der elektrische Strom also in westlicher Richtung vor dem Nordpole vorbeiströmt, dagegen abwärts, wenn der Kupferpol sich im Westen befindet, und die Elektricität von hier nach Osten hin vor dem Nordpole vorbeiströmt. Beim Südpole der Nadel ist die Bewegung die entgegengesetzte, wie sich dieses von selbst versteht. Die Erscheinung selbst folgt nothwendig aus dem allgemeinen oben angegebenen Grundgesetze des Elektromagnetismus, indem die aufwärts und abwärts gerichtete Bewegung nur einen Theil des Umlaufens des Poles um den galvanischen Leiter ausmacht.

---

1 Die freie Umkreisung eines magnetischen Poles um den galvanischen Verbindungsdraht und die damit verwandten Erscheinungen übergehe ich hier. Man findet sie unter III. C. No. 9 und ff.

7. Ist der elektrische Leitungsdraht in der angegebenen, mit dem magnetischen Meridiane einen rechten Winkel bildenden Richtung über oder unter der Spitze einer Magnetnadel hingeführt, so fallen zuvörderst alle Bewegungen der Declinationsnadel in einer horizontalen Ebene von selbst weg, weil keine diese erzeugende Kraft vorhanden ist; bei den in einer verticalen Ebene beweglichen Nadeln dagegen wird die Bewegung um so mehr abnehmen, je weiter der elektrische Leitungsdraht sich von der Spitze nach der Mitte hin entfernt, und in der Mitte derselben, oder vielmehr schon vor derselben da verschwinden, wo die stets abnehmende magnetische Kraft der Nadeln $=0$ wird. Dieser Satz hat seinen Beweis gleichsam in sich selbst, vorausgesetzt, dafs sich der Leitungsdraht nicht in beträchtlicher Entfernung von der Oberfläche der Nadel befinde.

8. Es lassen sich der Vollständigkeit wegen noch die mannigfaltigen Modificationen betrachten, welche die erwähnten elektromagnetischen Erscheinungen erleiden, wenn der Leitungsdraht mit den Magnetnadeln verschiedene Winkel bildet. Um hierüber nicht zu ausführlich zu seyn, mögen nur diejenigen Fälle betrachtet werden, welche bei Magnetnadeln statt finden, die zugleich dem Einflusse des tellurischen Magnetismus unterliegen, wobei also das weit leichter folgende Verhalten der astatischen Nadeln ganz unberücksichtigt bleibt. Zur leichteren Uebersicht mögen ferner zuerst das Verhalten der Declinationsnadel zur Untersuchung kommen. Die Scheitel der Winkel, welche der elektrische Leiter mit diesen bildet, liegen entweder im Mittelpuncte der Nadel oder an ihrer Spitze. Rücksichtlich der ersteren liegen folgende Erscheinungen unmittelbar bei der Sache. Wenn der elektrische Leiter zuerst in einer verticalen Ebene und parallel mit der Axe der Nadel über derselben hingeführt ist, so wird die Nadel eine der elektrischen Wirksamkeit proportionale Abweichung erhalten, welche eine östliche seyn möge. Folgt man demnächst der Nadel mit dem Leiter, die Drehungsaxe im Centro derselben angenommen, so mufs die Nordspitze durch O. bis S. getrieben werden, und sobald sie über diesen Punct hinausgekommen ist, wird sie das Bestreben äufsern, wieder nach N. zurückzukehren, woran sie indefs durch die Einwirkung der andern Seite des Drahtendes gehindert wird, indem diese die Nadelspitze nach der entgegen-

gesetzten Seite sich zu bewegen sollicitirt. Den Winkel, welchen die Nadel mit dem ihm folgenden Drahte bildet, für jede Richtung einzeln zu bestimmen, würde sehr weitläuftige Rechnungen erfordern, anfangs aber wird derselbe demjenigen gleich seyn, in welchem die Nadel unter dem Leiter bei geschlossener Kette zum Stillstande kommt. Insofern aber der Leitungsdraht, wenn man die Richtung des elektrischen Stromes vom Beobachter aus fortschreitend annimmt, den Nordpol der Nadel von der rechten Seite her anzieht, unter sich fortführt, und nach der linken Seite hin abstöſst, so folgt aus mechanischen Gesetzen im Allgemeinen, daſs sowohl die anziehende als auch die abstoſsende Kraft des Leitungsdrahtes mit der Gröſse des Winkels abnehmen wird, welchen die Nadel mit ihm bildet. Bei schwacher Elektricität kann auch dieser Winkel leicht eine solche Gröſse erhalten, daſs die Wirkung gänzlich verschwindet, ist aber die elektrische Strömung stärker, dann kommen noch sonstige Bedingungen hinzu, welche die Erscheinungen abändern. Befindet sich nämlich die Magnetnadel im magnetischen Meridian, der Leiter über derselben, wir wollen annehmen, die Strömung sey von NO. nach SW. gerichtet und gehe über dem Mittelpuncte der Nadel hin, so wird der in NO. befindliche Theil den Nordpol anziehen, der in SW. dagegen den Südpol anziehen. Beide Kräfte werden im Minimo ihrer Wirksamkeit seyn, wenn der Leitungsdraht lothrecht auf die Axe der Nadel gerichtet ist, oder die Strömung von O. nach W. geht. Wirkten nun die magnetischen Kräfte der Nadel bloſs in der Richtung ihrer Axe, die des Leitungsdrahtes in einer auf seine Axe normalen Richtung, so müſste die Nadel dann zum Stillstande kommen. Beides ist aber nicht der Fall, und obgleich bei der angegebenen Lage die ganze rechte Seite des Leiters den Nordpol, die ganze linke dagegen den Südpol anzieht, also bei vollkommen lothrechter Richtung die Summen dieser gleichen Kräfte sich aufheben müſsten, so ist doch ein solches Gleichgewicht physisch unmöglich, vielmehr muſs bei der geringsten Abweichung von dieser genau perpendiculären Richtung eine Bewegung des Nordpoles der Nadel entweder durch O. oder durch W. anfangen, und dann wird sie nicht früher zum Stillstande kommen, als bis sie völlig umgekehrt ist, wobei die linke Seite des Leiters auf den Nordpol, die rechte auf den Südpol derselben abstoſsend wirkt. Hiermit stimmt die Beobachtung voll-

kommen überein[1]. Es scheint mir überflüssig, die hieraus nothwendig horvorgehende Folgerung eben so ausführlich zu entwikkeln, daſs bei der Richtung des elektrischen Stromes vom magnetischen W. nach O. oberhalb der Nadel gar keine Bewegung derselben erfolgen kann, auch bedarf es kaum der Erwähnung, daſs die Wirkungen des Leiters die entgegengesetzten sind, wenn er *unter* der Nadel hingeführt ist. Hiermit übereinstimmend ist dann auch das von Seebeck[2] beobachtete Phänomen, daſs ein auf Quecksilber schwimmender Magnetstab unter dem galvanischen Leitungsdrahte sich mit seinem Indifferenzpuncte einstellt.

Bildet dagegen die *Spitze der Magnetnadel* mit dem Leitungsdrahte einen Winkel, so kommen unter den verschiedenen möglichen Lagen der Axen des Drahtes und der *Declinationsnadel* zunächst nur diejenigen in Betrachtung, wobei die Nadelspitze unter oder über dem Leitungsdrahte sich befindet, und die Axen der Nadel und des Drahtes in einander parallelen horizontalen Ebenen liegen. Ohne über diese und die sonstigen Fälle in weitläuftige Rechnungen einzugehen, ergiebt sich bald, daſs für die angegebene Lage die Stärke der Bewegung der Gröſse des Winkels umgekehrt proportional seyn, und bei 90° verschwinden wird. Alle übrigen Erscheinungen folgen dann von selbst, wenn man nur die Richtung vor Augen hat, in welcher die Nadelspitze um den elektrischen Leiter zu laufen sollicitirt wird, weswegen diese Aufgabe keine weitere Untersuchung der einzelnen, unter sie gehörigen Fälle bedarf. Eben so wenig würde es sich der Mühe belohnen, das Verhalten der *Inclinationsnadel* für die verschiedenen Winkel einzeln anzugeben, welche der Leitungsdraht mit ihr bilden kann, die Scheitel derselben gleichfalls in der Drehungsaxe der Nadel liegend oder mit ihrer Spitze gebildet angenommen. Man darf nämlich nur berücksichtigen, daſs bei dieser Nadel nur diejenigen Winkel in Betrachtung kommen, welche in verticalen Ebenen liegen, und nach der Voraussetzung, daſs die Wirkungen des elektrischen Leiters in seinem ganzen Umfange einander gleich sind (nach No. 2) mit denjenigen zusammenfallen, welche

---

1 Vergl. Pfaff a. a. O. S. 38 u. 215. Bechstein bei G. LXVII. 371. Gilbert ebend. LXVI. 331. A. van Beck bei G. LXVIII. 306.

2 Schweigg. Journ. XXXII. 30.

so eben für die Declinationsnadel in einer horizontalen Ebene nachgewiesen sind[1].

Biot hat endlich auch den Fall untersucht, wenn statt eines lothrecht vor der Spitze der Magnetnadel herabgeführten Leiters ab ein in einem gewissen Winkel $\alpha\mu\gamma$ gebogener dieselbe bewegt. Das Resultat dieser mit grofser Sorgfalt angestellten Versuche ergab, dafs die bewegende Kraft allezeit dem Winkel der Biegung proportional ist, dafs folglich die Biegung an sich auf die Wirksamkeit eines jeden einzelnen Elementes des galvanischen Leiters keinen Einflufs hat. Es lassen sich hiervon Anwendungen auf die Gesammtwirkung der wiederholten Windungen bei den Multiplicatoren machen[2]. Fig. 65.

9. Die Stärke der elektromagnetischen Wirksamkeit eines galvanischen Leiters wird durch die Gröfse des Winkels bestimmt, bis zu welcher er die Nadel anzieht oder abstöfst[3]. Eine solche Messung kann aber nur für diejenigen Fälle statt finden, in denen die Nadel zum Stillstande kommt, indem die Oscillationen, welche dieselbe beim wiederholten Oeffnen und Schliefsen des Kreises macht, kein eigentliches Mafs angeben, und auch schwache Apparate bei gehöriger Geschicklichkeit des Experimentators die Nadel leicht durch einen ganzen Kreis herumschleudern. Weil aber die Elektromotoren ihre Kraft nicht auf die Dauer behalten, und man sie nicht mit Sicherheit von einer bestimmten Stärke erhalten kann, so läfst sich auf diesem Wege das Gesetz der magnetischen Abstofsung nicht ohne bedeutende Schwierigkeiten auffinden. Inzwischen hat G. G. Schmidt[4] aus eigenen sinnreichen Versuchen, indem er in möglichst kurzen Zwischenräumen zuerst den Abstofsungswinkel der Declinationsnadel und dann der Inclinationsnadel mafs, desgleichen aus der Berechnung der früheren Versuche von Gilbert und vorzüglich von Bechstein folgendes Gesetz abgeleitet: „*die mittlere Richtung der abstofsenden oder anziehenden* „*Kraft eines elektrischen Stromes auf die Magnetnadel geht*

---

1 Vergl. Pfaff der Elektromagnetismus u. s. w. S. 38.

2 Biot Précis élémentaire de Physique. II. 740.

3 Berechnungen der abstofsenden Kraft des elektrischen Leiters, verglichen mit der des tellurischen Magnetismus von Kaemtz. S. Schweigger Journ. XXXVIII. 100.

4 G. LXX. 249.

„perpendiculär von der Richtung des Stromes nach den Po-„len der Magnetnadel, und steht im verkehrten Verhältnisse „der perpendiculären Abstände des Stromes von den Polen der „Magnetnadel.“ Dieses Gesetz, welches auch Hansteen aus den oft erwähnten Seebeck'schen Versuchen fand[1], Biot und Savart aber aus den Schwingungszeiten von Magnetnadeln in verschiedenen Abständen vom Schlieſsungsdrahte ableiteten[2], hat Schmidt später aus dem anderen gefolgert, *„daſs „jeder einzelne Punct des elektrischen Stromes die Pole der „Magnetnadel im verkehrten Verhältnisse der Quadrate der „Entfernungen anziehe oder abstoſse[3].“*

Auch Barlow will dieses Gesetz durch seine Versuche mit Hare's Calorimotor bestätigt gefunden haben, drückt es aber so aus, daſs die eigenthümliche Wirksamkeit der hierbei thätigen Potenzen näher bezeichnet wird, als wozu uns die Versuche bis jetzt berechtigen. Er nimmt nämlich an, daſs jedes Theilchen des galvanischen Fluidi im leitenden Drahte auf jedes Partikelchen des magnetischen Fluidi in der Nadel mit einer dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionalen Kraft wirke, jedoch weder anziehend noch abstoſsend, sondern mit einer in beiden Flüssigkeiten reciprok wirkenden Tangentialkraft, welche die Pole derselben in einem rechten Winkel unter einander und mit dem berührenden Puncte bewegt[4].

Biot und Savart[5] untersuchten nicht bloſs die Stärke der magnetischen Wirksamkeit, welche ein massiver galvanischer Leiter gegen eine horizontal schwebende Magnetnadel in verschiedenen Abständen äuſsert, und verglichen diese mit der Wirkung des tellurischen Magnetismus, sondern sie fanden auch eine kupferne Röhre von 43 Millim. Durchmesser bei dem nämlichen Elektromotor wirksamer als einen massiven Draht von 0,84 Millim. Durchmesser, und zwar im Verhältniſs von 1,25324 : 1, entweder weil eine Röhre zur Erregung des Magnetismus

---

1 G. LXX. 178.

2 Biot Précis élémentaire de physique exp. Par. 1824. II. 707. Vergl. G. LXVI. 392.

3 Dieses nämliche Gesetz fand La Place aus den Versuchen von Biot und Savart. S. Biot a. a. O. S. 741.

4 Edinburgh Phil. Journ. VII. 281. Vergl. unten IV. D. 5.

5 a. a. O. S. 735.

tauglicher ist, oder wahrscheinlicher weil sie die Elektricität in gröſserer Menge durchleitet.

Da die absolute Gröſse des Winkels, bis zu welcher die Magnetnadel durch den elektrischen Leiter abgestoſsen wird, der Stärke des erregten Magnetismus proportional ist, letztere aber von der elektrischen Wirksamkeit der gebrauchten Apparate abhängt, so hat man sich dieses Mittels vielfach bedient, um die elektrische Thätigkeit der angewandten Elektromotoren und die Leitungsfähigkeit der gebrauchten Flüssigkeiten wie auch der die Metalle verbindenden Leiter zu erforschen. Alle diese Untersuchungen gehören aber nicht hierher, und werden daher nur beiläufig erwähnt.

Die absolute Entfernung, bis auf welche die Verbindungsdrähte mächtiger Elektromotoren ihre Wirkungen auf die Magnetnadel fortpflanzen, ist unglaublich groſs. Seebeck hat, so viel mir bekannt ist, bishero die gröſste Weite beobachtet, indem er bei einem Abstande von 10 F. noch eine Abweichung der Magnetnadel bis 4 Grade betragend wahrnahm [1], und es leidet keinen Zweifel, daſs gröſsere Apparate ihre Wirkungen noch weiterhin ausdehnen.

10. Es folgt aus den bisher angegebenen Erscheinungen von selbst, daſs die Wirkung des galvanischen Leitungsdrahtes auf die Magnetnadel verdoppelt werden muſs, wenn man denselben zuerst über der Nadel parallel mit ihrer Axe hinführt, dann umbeugt, auf gleiche Weise rücklaufend unter der Nadel hinzieht, und so beide Enden mit den beiden heterogenen Metallen des Elektromotors verbindet. Schweigger [2], und, durch eine Andeutung von diesem geleitet, Poggendorf [3] benutzten dieses Mittel zur Verstärkung der elektromagnetischen Wirkungen durch den elektromagnetischen *Multiplicator*. Die Construction dieses höchst wichtigen Werkzeuges ist auf das eben angegebene einfache Princip gegründet, daſs der zurücklaufende galvanische Leitungsdraht auf die entgegengesetzte Seite der

---

1 Schweigg. Jour. XXXII. 31. Berliner Denksch. a. a. O. S. 304.

2 Journ. XXXI. 1 ff. XXXII. 47.

3 Erman Umrisse zu den physischen Verhältnissen des von H. P. Oersted entdeckten elektrochemischen Magnetismus. Berl. 1821. 8. S. 105. Vergl. G. LXVII. 429. Es leidet keinen Zweifel, daſs Schweigger der eigentliche Erfinder des Multiplicators sey.

Magnetnadel bei gleichem Abstande eine hinsichtlich der Richtung und der Stärke gleiche Wirkung hervorbringen mufs. Könnte man den galvanischen Leitungsdraht auf gleiche Weise und in gleicher Entfernung von der Axe der Nadel nochmals um dieselbe herumführen, so müfste die ursprüngliche einfache Wirkung jetzt abermals verdoppelt oder durch abermalige Zurückführung im Ganzen vervierfacht werden; allgemein aber gäben dann n Windungen des galvanischen Leitungsdrahtes eine 2n fache Wirkung, die des einfachen über oder unter der Nadel hingeführten Leiters als Einheit angenommen. Aus dieser allgemeinen Darstellung ergiebt sich, dafs das angegebene Verfahren nur bei Elektricität von geringer Spannung anzuwenden sey, weil jede einzelne Windung des Leitungsdrahtes isolirt seyn mufs, damit sie nicht mit der neben oder über ihr liegenden einen gemeinschaftlichen Leiter, und somit ein einfaches leitendes Element bilde; dafs aber zugleich, unter der Bedingung einer möglichen Isolirung, die Zahl der Windungen ausnehmend vermehrt werden kann, wodurch dann eine dieser proportionale Vervielfachung der elektromagnetischen Wirksamkeit mit gehöriger Rücksicht auf die nothwendig vergröfserte Entfernung der vermehrten Windungen von der Nadel gegeben wird. Hieraus folgt indefs von selbst, dafs der Multiplicator die elektromagnetischen Erscheinungen weder abändert noch im eigentlichen Sinne eigenthümlich modificirt, sondern lediglich verstärkt, und hierdurch die wegen ihrer Kleinheit sonst nicht wahrnehmbaren wahrnehmbar macht. Sofern aber die elektromagnetischen Erscheinungen blofs Folge der erregten Elektricität sind, so müssen die kleinsten Spuren der ersteren auch ein Vorhandenseyn der letzteren anzeigen; der Multiplicator tritt somit aus der Sphäre des *Elektromagnetismus* heraus, und wird zu dem feinsten bis jetzt bekannten *Elektroskope* für *galvanische Elektricität.* Aufser der Angabe des Princips, worauf derselbe beruhet, gehört also die vielfache Anwendung desselben unter den Artikel *Galvanismus*, die verschiedene, mehr oder minder zweckmäfsige Construction desselben wird aber besonders angegeben werden, nebst einer Untersuchung über die durch denselben zu erhaltende Verstärkung der elektromagnetischen Kraft eines gegebenen Elektromotors[1]. Unter die ähnli-

---

1 S. *Multiplicator, elektromagnetischer.*

chen Apparate gehören Faraday's Ring[1], die Spiralen, schraubenförmigen Windungen u. s. w.

11. Eine dem Multiplicator ähnliche, und gleichfalls nicht uninteressante Form erhielt der galvanisch-elektrische Leitungsdraht durch Ampère. Dieser ging hierbei von seiner gleich anfangs aufgestellten Theorie aus, wonach im elektromagnetischen Leitungsdrahte die polare Richtung des Magnetismus auf den elektrischen Strom normal gerichtet seyn soll. Um daher die Polarität dieses Leitungsdrahtes zu verstärken, bog er denselben von einem Puncte ausgehend durch mehrere Windungen zu einer in einer geraden Fläche liegenden Spirale mit gleichem Abstande der Windungen von einander. Ist der hierzu gewählte Draht etwas stark und die Zahl der Windungen nicht grofs, so erhält sich die Spirale in der geraden Fläche und ohne Berührung der einzelnen Windungen durch die Steifheit des Drahtes. Man kann aber auch nach v. Althaus[2] eine kreisrunde Scheibe von Pappe mit Siegellack überziehen, durch den Mittelpunct derselben den gewählten Draht stecken, am besten Kupferdraht, welchen man unter dem Namen des *unächten Silberdrahtes* mit einem dünnen Ueberzuge von Silber erhält, letzteren aber durch Ausglühen und Abreiben mit etwas Kreide und Papier oder auch durch blofses Abreiben fortschafft, wenn man dieses wünscht, dann denselben um dieses Ende in spiralförmigen Windungen, etwa eine Linie von einander abstehend, herumführen, bis die ganze Kreisfläche auf solche Weise übersponnen ist, endlich aber die an keiner Stelle sich berührenden Windungen sämmtlich durch ein heifses Eisen in das Siegellack eindrücken. Am besten kann man sich, wie ich glaube, diese interessanten Apparate auf folgende Weise verfertigen. Man nimmt den genannten Silberdraht von 0,1 bis etwa 0,2 Lin. Dicke, oder noch stärker, wenn man bei der Anwendung grofser Elektromotoren das Glühen vermeiden will, läfst diesen mit Seide überspinnen, biegt ihn einige Fufs vom einen Ende recht winklich um, windet mit Hülfe einer Spitzzange um diese Biegung die erste Windung, und befestigt sie an ihrem Ende vermittelst eines seidenen Fadens, fädelt diesen in eine Nähnadel, und

---

1 G. LXXI. 158.

2 Versuche über den Elektromagnetismus u. s. w. Heidelb. 1821. S. 13.

während man fortfährt, um diese erste Windung die folgenden zu biegen, so befestigt man sie an einander durch Umschlingen des Seidenfadens. Hat man auf diese Weise eine hinlängliche Menge Windungen hergestellt, so wird ein Messingdraht von 0,5 bis 1 Lin. dick in einen etwa eine Linie gröſseren Kreis gebogen, als welchen die Scheibe einnimmt, an den zusammenstoſsenden Enden zu einem Ringe zusammengelöthet, die Scheibe vermittelst Seidenfäden dazwischen ausgespannt, das letzte Ende des besponnenen Drahtes aber nach Zwischenlegung eines Stückchens Seidenzeug am Ringe festgebunden. Das erste Ende des Drahtes kann freihängend bleiben, für einige Versuche aber muſs dasselbe, um seinen Einfluſs gegen den der Scheibe verschwinden zu machen, auf die letztere herabgebogen, und an dem messingenen Ringe dem letzten Ende diametral gegenüber fest gebunden werden. Diese Verfertigungsart ist etwas langwierig, allein da die einzelnen Windungen nur so weit von einander abstehen müssen, daſs zum Umschlingen des Seidenfadens die Nadel bequem durchgesteckt werden kann, so läſst sich auf diese Weise in einer nicht übermäſsig groſsen Scheibe eine sehr bedeutende Anzahl Windungen vereinigen, auch ist der umgebende Messingdraht bei Scheiben von 2 bis 3 Z. Durchmesser überflüssig, und kann unbedenklich nicht übersponnener Draht gewählt werden, wenn man die einzelnen Windungen desselben durch eine hinlängliche Menge Umschlingungen des Seidenfadens hinlänglich trennt.

Von den Erscheinungen, welche diese Spiralscheibe darbietet, können hier nur die Wirkungen derselben auf die Magnetnadel erwähnt werden. Diese lassen sich insgesammt kurz zusammenfassen, wenn man sagt, daſs die Spiralscheibe durch den galvanischelektrischen Strom an ihren beiden Flächen entgegengesetzt magnetisch wird, oder einen zweipoligen Magnet darstellt, indem ihre Polarität vom Rande an nach der Mitte hin wächst, und im Mittelpuncte selbst das Maximum ihrer Intensität erreicht. Mag dieselbe daher horizontal niedergelegt, oder vertical aufgehangen werden, und wie man dieselbe in beiden Lagen auch um ihr Centrum bewegt, stets wird die eine Fläche derselben nördliche, die andere dagegen südliche Polarität zeigen, so lange der Strom der Elektricität der nämliche bleibt. Denkt man sich übrigens die Scheibe der leichteren Vorstellung wegen in einer durch den magnetischen Meridian

lothrechten Ebene aufgehangen, die elektrische Strömung vom Kupfer ausgehend von Norden nach Süden durch die äufserste Windung gehend und sofort zuletzt dem Zinkpole wieder zuströmend, so wird die nach Osten gerichtete Fläche nördliche, die entgegengesetzte aber südliche magnetische Polarität zeigen. Uebrigens ist die letztere auch bei kleinen Elektromotoren, z. B. dem mehrgenannten kupfernen Kasten, so stark, dafs die Scheibe von Osten nach Westen, also auf die magnetische Mittagslinie senkrecht gerichtet, fein balancirte 3 bis 4 zöllige Magnetnadeln ganz umkehrt, und deren Spitze in ihrem Mittelpuncte festhält.

12. Seebeck[1] hat eine ganz eigenthümliche Wirkung des galvanischen Leitungsdrahtes auf die Magnetnadel beobachtet, welche späterhin von andern, so viel ich weifs, nicht weiter untersucht ist. Werden die beiden Elemente des einfachen Volta'schen Apparates Kupfer und Zink durch eine Flüssigkeit F getrennt, und durch einen mitten über die Zinkplatte parallel mit ihrer Ebene hingeführten Metalldraht geschlossen, die Richtung desselben von Nord nach Süd angenommen, so wird die Nadel unter diesen Draht gestellt mit ihrem Nordpole östliche Abweichung zeigen, welche in dem Verhältnisse abnimmt, als man sich weiter vom Leitungsdrahte entfernt. Stellt man die Nadel über den Draht, so ist die Abweichung westlich, nimmt ab, wenn man die Nadel in eine gewisse Entfernung vom Leitungsdrahte bringt, wird endlich 0 und geht in östliche Abweichung über. Je näher die horizontale Ebene, worin man die Nadel östlich und westlich bewegt, dem Leitungsdrahte liegt, desto kleiner ist nach beiden Seiten desselben die Fläche, innerhalb deren die Declination westlich bleibt. Zieht man durch diejenigen Puncte, in denen die Declination verschwindet, eine Linie, so gleicht diese einer Hyperbel. Seebeck leitete die Ursache dieser Erscheinung aus der Einwirkung der gleichfalls elektromagnetische Wirkungen zeigenden oberen Zinkplatte ab, und fand auch, dafs die zwei Elektromotoren, wenn sie durch eine Flüssigkeit getrennt und durch einen metallischen Bügel *a* verbunden sind, ähnliche Wirkungen, als ein elektromagnetischer Leiter zeigen.

Fig. 66. Fig. 67. Fig. 68.

1 Abhandl. der Berl. Akad. Jahr 1820—21. S. 289. Schweigg. Journ. XXXII. 31.

Diese Erscheinungen, welche SEEBECK mit seinem bekannten Scharfsinne der von ihm aufgestellten Theorie gemäfs zu erklären sucht, schienen mir viel zu wichtig, als dafs ich sie für den Zweck der vorliegenden umfassenden Untersuchung dieses schwierigen Gegenstandes nicht hätte wiederholen sollen. Ein so groſser Apparat, als der von SEEBECK gebrauchte, stand mir dabei zwar nicht zu Gebote, allein die Wirkung des meinigen war gewifs stark genug, um die Frage eben so sicher als vollständig zu entscheiden. SEEBECK's Apparat nämlich bestand aus einer einzigen Kupfer- und einer Zink-Platte, jede 5,3 Quadratfufs haltend, und durch eine Auflösung von Kochsalz und Salmiak, oder durch verdünnte Schwefelsäure, verbunden; dagegen hatten die von mir gebrauchten Platten nur 18 Par. Zoll Seite, allein die Flüssigkeit, womit die zwischenliegende Tuchscheibe stark getränkt war, bestand aus einer Mischung von Salpetersäure und verdünnter Schwefelsäure. Zur Sicherheit lag die untere Kupferscheibe auf einer isolirenden Glastafel, und die Zinkscheibe wurde zur Verstärkung des Effectes vermittelst schwerer Gewichte angedrückt. Fig. 66. Der Draht b a von Messing und 0,2 Par. Lin. im Durchmesser haltend, wurde durch einen Gehülfen straff angezogen, so dafs er überall etwa eine Linie von der Fläche der Zinktafel abstand. Dabei schien es mir besser, ihn nicht unmittelbar und bleibend auch mit der Kupferplatte zu verbinden, sondern bei γ stand ein kleines Gefäfs mit Quecksilber, in welches der am Kupfer festgelöthete Draht bleibend herabging, der an die Zinkplatte bei b angelöthete aber abwechselnd eingetaucht wurde, um die Wirkung desselben bei offener und geschlossener Kette zu beobachten. Als ich auf den Verbindungsdraht eine 3 Z. lange, auf einer 0,75 Z. hohen Spitze schwebende Magnetnadel stellte, war die westliche Abweichung so stark, dafs die Nadel beim Schliefsen der Kette einigemale in einem ganzen Kreise umlief. In einiger Entfernung östlich und westlich vom Verbindungsdrahte hörte indefs die Wirkung auf, ich glaubte auch die erwartete östliche Abweichung zu entdecken, allein als ich mich bemühete, die Ordinaten der durch SEEBECK gefundenen Curve genau zu messen, wurden die Erscheinungen so abweichend und regellos, dafs ich nach einigen vergeblichen Bemühungen den Gebrauch der auf der Spitze balancirten Nadel aufgab, und mich einer 4 Z. langen, an einem ungezwirnten Seidenfaden

balancirten, in einer Glasglocke herabhängenden, bediente. Hiermit wurde die Sache bald klar, und es zeigte sich mit einer über alle Zweifel erhabenen Gewifsheit, dafs hierbei blofs der Leitungsdraht b a wirksam sey. Ueber diesem zeigte die Nadel in seiner ganzen Länge und mit einiger nach a hin zunehmenden Stärke die regelmäfsige westliche Abweichung, in einer Entfernung von demselben sowohl östlich als westlich fing aber die verticale Bewegung der Nadelspitzen, dort der nördlichen, hier der südlichen, an, und wurde in 2 Z. Abstand so stark, dafs die Spitzen auf der Zinkscheibe fest zu hängen schienen. In gröfseren Entfernungen war das Herabziehen schwächer, aber doch unverkennbar, und hier traten dann allerdings die leichteren horizontalen Schwingungen ein, welche ohne genauere Bekanntschaft mit diesen Erscheinungen allenfalls für östliche Abweichungen gehalten werden konnten.

Dafs die Sache sich genau so verhalte, wie sie hier angegeben ist, wird jeder finden, welcher die Versuche zu wiederholen sich geneigt fühlt. Ob bei Seebeck's Versuchen die östlich und westlich vom Leitungsdrahte gestellte Magnetnadel vielleicht *unter* die horizontale Ebene des Leitungsdrahtes gekommen sey, und daher östliche Abweichung gezeigt habe, wage ich nicht zu bestimmen, allein ich bin mehr geneigt, dieses zu glauben, als der Zinkplatte einen die Wirkungen des Leitungsdrahtes störenden Einflufs beizulegen, auch kann ich mir nicht denken, dafs der Draht in der Zinkplatte eigenthümlichen, und dem seinigen entgegengesetzten Elektromagnetismus hervorgerufen haben sollte; wenigstens würde dieses mit allen bisherigen Erfahrungen im Widerspruche stehen. Dürfen wir aber dieses nicht annehmen, so zeigen die folgenden Versuche, dafs die Volta'schen Platten, mindestens die Zinkplatte, zwar einigen, aber einen fast verschwindenden Elektromagnetismus annehmen, und es ist überhaupt noch zweifelhaft, ob ein solcher überall in ihnen erregt wird.

Um dieses zu prüfen, bauete ich den Apparat nach der zweiten, durch Seebeck angegebenen Art auf, jedoch gleichfalls mit der Abänderung, dafs der Draht *a* aus zwei Theilen bestand, welche von der Zink- und Kupferplatte ausgehend in ein kleines Gefäfs mit Quecksilber gesenkt wurden. Diesesmal bestand der Verbindungsdraht aus Kupfer (unächter Silberdraht) 0,3 Par. Lin. Durchmesser haltend, und der Strom der Elektri- Fig. 68.

cität war so stark, daſs ich den Draht anfangs wegen zu groſser Hitze nicht mit bloſsen Fingern berühren konnte. Die Länge des vom Zink ausgehenden Endes betrug 4,5 Z., des an das Kupfer gelötheten 1,5 Z., und in der Biegung war die Hitze am stärksten. Wurde die an dem Seidenfaden aufgehangene Nadel auf die Zinkplatte herabgelassen, so zeigte sich an der Nordseite derselben allerdings eine starke Abweichung, allein man konnte bald wahrnehmen, daſs diese Wirkung durch den Einfluſs des Verbindungsdrahtes erzeugt wurde, denn sie änderte sich nach der Richtung, in welche dieser gebogen wurde, und verschwand schon, wenn die Nadel über der Mitte der Scheibe schwebte, und der Draht in der Richtung von Osten nach Westen horizontal gebogen, und rückwärts laufend in das Quecksilber gesenkt wurde. Um eine noch feinere Messung zu erhalten, nahm ich eine höchst empfindliche, aus einer Uhrfeder möglichst dünn geschliffene, 2,25 Z. lange und in der Mitte 1 Lin. breite, an einem Spinnfaden aufgehangene Nadel von der Art, wie v. Yelin sie bei seinen thermo-elektrischen Versuchen gebraucht. Diese zeigte denn allerdings über der ganzen Oberfläche der Zinkscheibe, auch an der südlichen, vom Verbindungsdrahte am weitesten entfernten Seite unverkennbare Abweichungen, welche aber nicht mehr als etwa 5 Grade betrugen, und so daſs wegen der beim Schlieſsen der Kette unvermeidlichen Erschütterung kaum genau unterschieden werden konnte, ob die Abweichung östlich oder westlich war, auch läſst sich hiernach nicht bestimmen, ob sie durch die Platte oder durch den Schlieſsungsdraht erzeugt wurde. Inzwischen bin ich meinerseits durchaus nicht zweifelhaft, daſs Letzteres der Fall war.

13. Der Leiter der Elektricität bei einer gewöhnlichen Elektrisirmaschine, welcher das elektrische Fluidum in einem bleibenden Strome entweder vom ersten oder vom zweiten Conductor zur Erde überführt, oder auch das Gleichgewicht zwischen beiden wieder herstellt, auch wenn derselbe durch einen Multiplicator verlängert und wirksamer gemacht wird, bringt auf die Magnetnadel keine der bisher beschriebenen Wirkungen hervor. Viele Physiker haben Versuche hierüber gemacht, am umfassendsten sind diejenigen, welche C. H. Pfaff[1] mit einer

1 Der Elektromagnetismus. S. 184. Aehnliche von Seebeck S. Berlin. Denksch. a. a. O. S. 333.

sehr kräftigen Maschine und unter verschiedentlich abgeänderten Bedingungen anstellte, ohne das geringste Resultat zu erhalten. Indem nun die Gleichheit des Wesens beider Elektricitäten anderweitig genügend nachgewiesen ist, und auch sonstige elektromagnetische Wirkungen durch die Reibungselektricität hervorgebracht werden, so hat man sich viel bemühet, die Ursache aufzufinden, warum sie in dieser Form ganz ausbleiben. Man könnte annehmen, der elektrische Strom durchlaufe den Leitungsdraht zu schnell, um der Nadel die erforderliche Zeit zur Bewegung zu gestatten, allein hierin kann der Grund nicht liegen, indem Pfaff in dem von ihm gebrauchten Drahte allezeit noch einige Spannung der Elektricität antraf, die sich dem sehr genäherten Finger in kleinen Funken mittheilte, ohngeachtet der statt findenden vollkommenen Ableitung. Pfaff ist vielmehr geneigt zu glauben, dafs eben die stärkere Spannung der Elektricität die Wirkung hindert. Zur weiteren Erläuterung dieser Frage diene vorläufig Folgendes[1]: Die Reibungselektricität scheint mir dann der galvanischen am nächsten zu kommen, wenn sie in einer Flasche aufgehäuft einseitig abgeleitet wird. Deswegen lud ich eine Flasche von 3,5 Quadratfufs Belegung, stellte eine an einem Spinnefaden aufgehangene feine Nadel auf einen Multiplicator von 120 Windungen, setzte das eine Ende seines Drahtes mit der äufseren Mauer des Hauses in leitende Verbindung, näherte die Spitze des andern vermittelst einer isolirenden Glasstange dem Knopfe der Flasche, und erhielt kaum wahrnehmbare, auf allen Fall 5° nicht übersteigende Abweichungen der Nadel, jedoch nur unter den günstigsten Umständen und nicht allezeit sicher[2].

B. Wirkung des elektrischen Leiters auf unmagnetischen Stahl und auf Eisen.

Aus den im vorhergehenden Abschnitte mitgetheilten Erscheinungen geht sehr einleuchtend hervor, dafs dem verbindenden Metalle zweier Elektromotoren in Folge der durchströmenden Elektricität zwar ein Magnetismus eigenthümlicher Art, jedoch ein ganz eigentlicher und unverkennbarer mitgetheilt werde. Ist dieses wirklich der Fall, so mufs der Verbindungs-

1 Vergl. unten III. B. 18.

2 Die weitere Erklärung S. unter Theorie.

draht auch die beiden bekannten magnetischen Eigenschaften zeigen, daſs er Eisen oder Stahl anzieht, und letzteres magnetisch macht. Wird zuvörderst die erste Erscheinung allein berücksichtigt, so gehören bedeutend starke Elektromotoren dazu, wenn der Magnetismus im Leitungsdrahte so gesteigert werden soll, daſs ein wirkliches Festhalten des Eisenfeilicht erfolgt; indeſs ist dieses Phänomen von so vielen Physikern beobachtet, daſs die Sache selbst keinem Zweifel unterliegt, und die Resultate der verschiedenen Versuche verdienen hauptsächlich nur in sofern eine nähere Betrachtung, als die Erscheinungen entweder durch ihre Stärke oder durch die erhaltenen individuellen Figuren ausgezeichnet waren, und hiernach zur Begründung einer angemessenen Theorie beizutragen vermögen.

1. Arago war wohl der erste, welcher bei seinen Versuchen mit einem mächtigen Volta'schen Apparate die wichtige Entdeckung machte, daſs der Schlieſsungsdraht eine bedeutende Menge Eisenfeilicht anzog und gleich einem Magnete festhielt[1]. Wurde derselbe in Eisenfeilicht getaucht, so belud er sich mit demselben bis zur Dicke eines Federkieles, lieſs es aber sogleich wieder fallen, als er auſser Verbindung mit den beiden Polen der Säule kam, auch nahm die getragene Menge mit der Wirksamkeit der Säule ab. Die Wirkung zeigte sich auch in einiger Entfernung, und war übrigens bei Drähten von Platin, Kupfer, Silber, Messing völlig gleich. Seebeck[2] beobachtete nicht bloſs das Anhängen des Eisenfeilicht überhaupt, sondern fand auch, daſs dasselbe um den lothrechten Draht concentrische und über einander parallel liegende Ringe bildete, beim horizontalen Leitungsdrahte dagegen ordnete sich das Eisenfeilicht über und unter demselben in kenntliche, mit der Axe gleichlaufende Streifen. Auſserdem bewaffnete Seebeck einen Schlieſsungsdraht von einem quadratischen Querschnitte, dessen Seite 4,5 Lin. betrug, mit eben so breiten und 5 Z. langen Schienen von weichem Eisen, welche kleine Stollen hatten, und dann vermittelst eines Ankers 5,5 Drachmen, und bei Anwendung eines Elektromotors, dessen Metalle jedes 31,5 Qua-

1 Ann. Chim. Phys. XV. 93.

2 Berlin. Denkschriften. 1820—21. S. 289 ff. S. 297. Schweigg. J. N. F. II. 30 u. 38.

dratfuſs hielt, 2 ℔. 2,5 Unzen trugen[1]. ERMAN[2] beobachtete vermittelst seines Rotationsapparates das Bestreben des feinsten Eisenfeilicht, durch die einwirkende Anziehung des Verbindungsdrahtes auf dasselbe sich in gewissen Figuren auf geglättetem Papiere zu lagern, welche er den durch BRUGMANS vermittelst eines parallel transversalen Magnetstabes erhaltenen ähnlich fand. Auch der von G. G. SCHMIDT gebrauchte Apparat[3] scheint nicht stark genug gewesen zu seyn, um am bloſsen Leitungsdrahte Eisenfeilicht in gehöriger Menge festzuhalten; brachte man es aber auf einer Glasscheibe liegend unter ihn, so legte es sich zu beiden Seiten desselben an ihn an, und stellte sich zugleich senkrecht auf seine Richtung[4]. Auch Davy[5] beobachtete mit am frühesten das starke Anhängen des Eisenfeilicht an einen dünnen Leitungsdraht der Volta'schen Elektricität in Massen, deren Dicke die des Drahtes bis auf das Zwölffache übertraf, und in Linien, deren Richtung er der Axe des Drahtes parallel fand.

Ich selbst habe mit dem (oben II. A. No. 5.) beschriebenen Apparate das Anhängen des Eisenfeilicht an Drähte von 0,1 bis 1,5 Lin. Durchmesser oft und genau beobachtet, dabei aber den von SEEBECK angegebenen Unterschied in der Wirkung eines horizontalen und eines lothrechten Leiters nicht gefunden. Wurde das Eisenfeilicht auf Papier von unten insbesondere den dickeren Drähten genähert, an denen überhaupt diese Erscheinung bei der Anwendung kräftiger Elektromotore besser beobachtet werden kann, so erhob sich dasselbe wie bei einem Stahlmagnete strahlenförmig bis zur Höhe von etwa 1,5 Lin., blieb aber bei Entfernung des Papiers nur in einer Lage von etwa 0,5 Lin. hängen, und bedeckte so nicht völlig den halben Umfang des Leiters. Bewegte man aber das Papier mit dem Eisenfeilicht unter dem Drahte hin und her, so umgab es den ganzen Umfang anscheinend in parallelen, sehr nahen Ringen, welche in-

---

1 a. a. O. S. 312.

2 Umrisse zu den physischen Verhältnissen des von H. P. Oersted entdeckten elektrochemischen Magnetismus. Berl. 1821. S. 32.

3 S. oben II. A. No. 4. G. LXXII. 4.

4 Die vielen späteren Beobachtungen dieser Erscheinung übergehe ich mit Stillschweigen.

5 Journ. de Phys. XCIV. 72.

defs wahrscheinlich der angegebenen Bewegung ihren Ursprung verdankten. Dünne Drähte wurden sogleich völlig davon umgeben, trugen aber im Ganzen eine weit geringere Menge.

2. Das Anziehen des Eisenfeilicht durch den galvanischen Verbindungsdraht läfst sich noch leichter sichtbar machen, wenn man die (III. A. No. 11) beschriebene Spiralscheibe anwendet, indem dieselbe auch bei kleineren Elektromotoren das Phänomen zeigt, z. B. bei der Anwendung von zwei Scheiben nur in der Gröfse eines Quadratfufses und der angegebenen Mischung von verdünnter Schwefelsäure mit Salpetersäure. Faraday[1] fand beim Gebrauche eines Hare'schen Calorimotors, dafs eine solche Spiralscheibe, insbesondere in ihrem Mittelpuncte, eine aufserordentliche Menge Eisenfeilicht festhielt. Bei einem aus mit Seide übersponnenem Drahte gebildeten massiven Cylinder soll nach ihm Eisenfeilicht, welches man auf Papier unter diesen hält, sich in krummen Linien anreihen, die von dem einen Ende desselben nach dem andern gehen, und den Weg anzeigen, den ein Magnetpol nehmen würde, indem die Enden eines solchen Cylinders sich wie die eines Magnetes verhalten, nämlich anziehen und abstofsen. Etwas undeutlich ist die Beschreibung des Verhaltens einer nicht ganz bis zum Mittelpuncte fortgewundenen Spirale. Legt man sie mit ihrer ebenen Seite auf einen Haufen Eisenfeilicht, so reihet dieses sich in Linien, welche mit der Axe der Scheibe parallel laufen, biegen sich dann von beiden Seiten jedes Drahtes sich begegnend wie Radien gegen einander, so dafs sie genau die Linien darstellen, welche ein Magnetpol um die Seiten der Ringe beschrieben haben würde. Das Eisenfeilicht in der Axe der Ringe stand aufrecht in lothrechten 0,5 Z. langen Fasern, eine wahre Axe des Ringes darstellend, indefs das Zwischenliegende ebenfalls lange Fasern bildete, die sich vom Centrum abwärts bogen, und zwar desto stärker, je weiter es sich von demselben entfernte. Es scheint mir indefs, als hätten manche Beobachter, hauptsächlich in den ersten Zeiten, in den Formen des angezogenen Eisenfeilicht mehr gesucht und somit auch gefunden, als wirklich darin liegt.

Sehr genau beschrieben sind diese Erscheinungen durch

1 G. LXXI. 156, 158.

G. G. Schmidt[1]. Die von ihm gebrauchte Spirale bestand aus Silberdraht, welcher in Abständen von 0,5 Z. gewunden war, und vermittelst übergebundener Glasstäbchen in einer geraden Fläche erhalten wurde. Unter diese hielt er in einer Entfernung von 0,5 bis 1 L. gleichförmig auf eine Glastafel gestreutes Eisenfeilicht in einer mit der Spirale parallelen horizontalen Ebene, und schloſs die galvanische Kette in kurzen Zwischenräumen. Bei jeder neuen Schlieſsung fuhren die Eisentheilchen nach der Spirale, vorzüglich nach ihrer inneren Windung in die Höhe, hingen sich an diese und an einander, und bildeten einen hohlen, abgestumpften, kegelförmigen Ring, dessen untere Basis die Glastafel, die obere der Ring der Spirale war. Als er darauf Eisenfeilicht auf eine Glastafel gleichmäſsig streuete und über die Spirale brachte, so ordnete sich dasselbe durch sanftes Klopfen zu einem schönen Sterne, dessen Mittelpunct mit dem Centrum der Spirale zusammenfiel, und dessen Strahlen senkrecht auf den Windungen derselben standen. Jedes Eisentheilchen wird hierbei nach Schmidt's Ansicht zwischen den Drähten der Windungen zum wirklichen Magnete mit entgegengesetzten Polen.

Fig. 69.

Fig. 70.

Nur mit wenigen Worten darf der Vollständigkeit wegen hier bemerkt werden, daſs es bisher noch nicht gelungen ist, durch Reibungselektricität irgend eine Wirkung auf Eisenfeilicht hervorzubringen.

Gleich wichtig sind wohl unstreitig die Wirkungen, wodurch der elektrische Leitungsdraht in *Stahlnadeln* bleibenden Magnetismus erzeugt. Auch diese Erscheinungen zerfallen wieder in zwei Arten, nämlich diejenigen, welche der gerade Draht darbietet, und solche, die vermittelst eines schraubenförmig gewundenen hervorgebracht werden.

3. Betrachten wir zuvörderst die ersteren, so war Arago[2] derjenige, welchem es am frühesten gelang, Stahlnadeln durch den quer über ihre Enden hingeführten Verbindungsdraht wirksamer Elektromotoren bleibend magnetisch zu machen. Ungleich umfassender aber waren Seebeck's Versuche[3]. Dieser entdeckte, daſs Stahlnadeln durch bloſses Streichen auf einem

1 G. LXXII. 3.

2 Ann. Chim. Phys. XV. 93.

3 Berlin. Denksch. a. a. O. S. 296. Schweigg. J. N. F. II.

Kupferstabe, welcher zur Verbindung der beiden Elektromotoren diente, beider Axen in einem rechten Winkel gegen einander geneigt, bleibend magnetisch wurden, und zwar nach einem constanten Gesetze nord- oder süd-polarisch. Bedient man sich hierbei einer angemessenern Bezeichnung, als die von Seebeck gewählte eines Streichens von der Rechten nach der Linken, dem elektrischen Strome in Gedanken selbst folgend, so kann man das Gesetz so ausdrücken: *wenn man die Nadel in derjenigen Richtung am Drahte streicht, oder streichend um denselben herumführt, in welcher der Nordpol der Magnetnadel um denselben herumläuft, so wird die Nadel an ihrem zuletzt abgezogenen Ende südpolarisch.* Dieses Gesetz wurde vorzüglich bestätigt durch H. Davy[1], welcher an einem 11 Z. langen und $\frac{1}{30}$ Z. dicken silbernen Schliefsungsdrahte des Volta'schen Apparates Stahlnadeln in verschiedenen Richtungen befestigte, einige mit demselben parallel laufend, andere quer unter, über und an den Seiten desselben. Alle wurden magnetisch, und zogen Eisenfeilicht an, die parallelen auf die nämliche Art, als der Draht selbst, und nur so lange, als die galvanische Kette geschlossen blieb; die quer gerichteten aber erhielten bleibenden Magnetismus, und es fand sich, dafs wenn das + Ende der Batterie in Osten stand, der Nordpol in allen unter dem Drahte in Querrichtungen befestigten Nadeln an der *Südseite*, in allen über ihm befestigten dagegen an der *Nordseite* desselben lag; auch war dieses stets der Fall, unter welchem Winkel gegen den Horizont die Nadeln befestigt seyn mochten. Es leuchtet von selbst ein, dafs diese Bezeichnung gänzlich mit dem angegebenen Gesetze übereinstimmt, welches auf so sichere Thatsachen gegründet künftig zur Prüfung anderer Angaben benutzt werden kann.

4. Es ist oben (III. A. No. 13) schon gezeigt, dafs die Reibungselektricität nur unter sehr beschränkenden Bedingungen ausnehmend schwache Spuren elektromagnetischer Wirkungen von derjenigen Art zeigt, wie die dort beschriebenen sind, desto auffallender aber zeigt sie diejenigen, welche hier untersucht werden, jedoch nur unter der Bedingung, wenn man sie nicht leise überströmend, sondern in Funken, sowohl

---

1 Phil. Trans. 1821. G. LXXI. 229.

einfachen[1], als insbesondere verstärkten anwendet, welche übrigens nur hinsichtlich des Quantitativen von einander verschieden sind. Der erste, welchem es gelang, durch starke elektrische Funken Stahlnadeln magnetisch zu machen, war v. Yelin[2], indefs beruhen die Resultate, wonach dieselben in Folge der durch sie selbst oder durch einen der Länge nach über sie ausgespannten Draht geleiteten elektrischen Funken magnetisch geworden seyn sollen, vermuthlich auf einer Täuschung, indem hierdurch, nach späteren übereinstimmenden Erfahrungen, mindestens kein Longitudinalmagnet erzeugt wird, die unlängst bekannten Folgen der Erschütterung etwa abgerechnet. Da die Versuche leicht anzustellen sind, so wurden sie seitdem von sehr vielen Physikern wiederholt, und es wird daher genügen, blofs die wichtigsten derselben namhaft zu machen. Im Allgemeinen ist dabei zu bemerken, dafs ein einziger starker Funken meistens die ganze Wirkung hervorbringt, welche durch eine beliebige Menge nachfolgender nicht weiter verstärkt wird; auch zeigt sich eine einzige grofse Flasche weit wirksamer, als eine Batterie, insbesondere wenn beide gleich grofse Belegungen haben. Ueberhaupt sind diese Versuche zwar sehr leicht anzustellen, allein vorzüglich gut gelingen sie nur dann, wenn die Witterung günstig, das Versuchszimmer nicht mit Menschen angefüllt ist, und die Elektricität daher einen bedeutenden Grad der Spannung hat.

5. Die gehaltreichsten Versuche über die Wirkungen des geraden Leitungsdrahtes der Flaschenelektricität hat H. Davy[3] angestellt. Stahlnadeln, welche mit ihrer Axe quer gegen die des Leitungsdrahtes gerichtet sind, werden, wenn man von der positiven Belegung ausgeht, links unter dem Drahte nordpolarisch, über demselben südpolarisch. Vergleichen wir dieses Resultat mit dem unter No. 3 angegebenen, durch Seebeck am Volta'schen Schliefsungsdrahte erhaltenen, so ergiebt sich, dafs beide identisch sind. Es befinde sich deswegen der posi-

---

1 Hill in Schweigg. Journ. XXXIV. 293.

2 G. LXVI. 406. LXVIII. 17. Nach Gilbert a. a. O. S. 18 ist es wahrscheinlich, dafs die Nachricht von Arago's Versuchen im Moniteur univ. 1820. N. 315. S. 1491 sich auf *Reibungselektricität* bezieht, in welchem Falle diesem Gelehrten auch jene Versuche zuerst gelangen.

3 Phil. Trans. 1821. G. LXXI. 233.

tive Pol der Flasche als positiver eines Volta'schen Apparates gedacht, im Norden, so muſs der Beobachter, um ihn rechts zu haben, nach Westen gerichtet seyn. Der Nordpol der Magnetnadel bewegt sich aber unter dem Drahte nach Osten. Faſst man also den durch Davy erhaltenen Nordpol, und zieht die Nadel vom Drahte ab, so berührt ihr Südpol denselben, und man kann demnach auch hierbei sagen, daſs eine Nadel südpolarisch wird, wenn man sie in derjenigen Richtung um den Leitungsdraht herumführt, in welcher der Nordpol des Magnetes um denselben läuft. Eine Leidener Batterie von 17 Quad. F. Belegung durch einen Silberdraht von 0,05 Z. Dicke entladen, machte eine 2 Z. lange und 0,05 bis 0,1 Z. dicke Nadel so stark magnetisch, daſs sie kleine Drahtstücke anzog, auch ging die Wirkung des Drahtes auf eine Entfernung von 5 Z. durch Wasser, Glas und elektrisch isolirtes Metall. Ging der Batteriefunken durch die Luft quer über die Nadel hin, so wurde sie weniger magnetisch, als unter oder über einem leitenden Drahte; eine 0,25 Z. dicke Säule Schwefelsäure in einer Röhre lieſs indeſs nicht genug Elektricität durch, um Magnetismus zu erzeugen. Zwei an einander befestigte Stahlstäbchen, durch deren gemeinschaftlichen Schwerpunct der Leitungsdraht ging, zeigten in ihrer Verbindung keinen bedeutenden Magnetismus, nach der Trennung aber fand sich, daſs die ungleichnamigen Pole zusammenlagen.

16. Dem Wesen nach ähnlich, aber noch interessanter ist folgender Versuch. Davy befestigte mit Zwirn auf einer Pappenscheibe, von 2,5 Z. Durchmesser 6 kurze Stahlnadeln so, daſs sie die Seiten eines im Kreise beschriebenen Sechsecks bildeten, ihr Ende einander nahe, doch ohne Berührung. Durch den Mittelpunct der Scheibe, und also auch des Sechsecks ging der Draht, welcher beide Belegungen der Flasche verband, und nach der Entladung derselben waren alle sechs Nadeln magnetisch mit einander zugewandten freundschaftlichen Polen, deren Lage umgekehrt wurde, wenn die Richtung des elektrischen Stromes die entgegengesetzte war. Wenn mehrere concentrische Polygone auf der Scheibe befestigt waren, so machte ein kräftiger Flaschenschlag sie sämmtlich magnetisch. Diese interessanten Versuche habe ich selbst sogleich nach ihrer Bekanntwerdung wiederholt, indem ich einen Messingdraht durch eine enge Glasröhre zog, und diese vermittelst zweier Körke in eine

andere, 3 Lin. weite befestigte. Auf die äufsere waren in den verschiedensten Richtungen gegen den Horizont eine grofse Menge 4 Lin. lange und etwa 0,3 Lin. dicke Stahldrähte mit etwas Wachs so aufgeklebt, dafs die Durchschnitte der Ebenen durch ihre Axen mit der des inwendigen Leiters vier rechte Winkel bildeten. Wurde ein kräftiger Flaschenschlag durch den Draht in der horizontal liegenden Röhre geleitet, so fanden sich alle Stahldrähte magnetisch, und zwar so, dafs alle gleichnamigen Pole nach einer Seite hin gerichtet waren, wenn man zur Bestimmung derselben eine den Leitungsdraht umkreisende Bewegung annimmt. Aehnliche Resultate erhielt gleichzeitig van Beek mit Stahlnadeln, welche er auf einer Glastafel liegend quer unter oder über den Entladungsdraht einer kräftigen Batterie brachte[1].

7. Unter die wichtigsten, mit einem geraden Leiter der Reibungselektricität anzustellenden Versuche gehört ohne Zweifel die Erzeugung der Transversalmagnete durch denselben, und man bedient sich hierzu seltener grofser Volta'scher Batterieen, obgleich sie diese Wirkung gleichfalls hervorbringen. Diese Art künstlicher Magnete, welche sich aus kleinen, mit ihren gleichnamigen Polen zur Bildung eines langen Stabes an einander gelegten Magnetstäben gleichfalls leicht herstellen lassen, kannte man schon lange. Nach der Bekanntwerdung des Elektromagnetismus scheint mir indefs Prechtl[2] der erste gewesen zu seyn, welcher die Aufmerksamkeit auf dieselben wieder rege machte, und sie wurden seitdem vielfach durch die Physiker vermittelst der Flaschenelektricität gebildet. Zuerst geschah dieses durch G. G. Schmidt[3], und ich selbst habe sie nach dessen Anweisung stets in vorzüglicher Stärke und von langer Dauer auf folgende Weise erhalten. Ich wickele stählerne Claviersaiten von No. 1 um eine 1,5 Lin. im Durchmesser haltende Thermometerröhre, indem ich das eine Ende der Saite am einen Ende der Röhre mit etwas gewichster Seide festbinde, in etwa 0,5 bis 0,25 Lin. abstehenden Windungen bis ans Ende der Glasröhre, wo der Draht gleichfalls mit Seide festgebunden wird. Wenn die Windungen sich unmittelbar

---

1 G. LXXII. 17.
2 G. LXVII. 262. Vergl. LXVIII. 203.
3 G. LXX. 229.

berühren, so werden nach meinen bisherigen Erfahrungen die Magnete minder kräftig. Ueber dem schraubenförmigen Drahtgewinde, mit der Axe der Röhre parallel, spanne ich einen Draht von beliebiger geringer Dicke, welchen ich an den Enden der Röhre gleichfalls festbinde, bringe diesen in den allgemeinen elektrischen Auslader, und lasse einen kräftigen Batteriefunken durchgehen, worauf der gerade Draht weggenommen wird, und die umwundene Glasröhre einen kräftigen Transversalmagnet darstellt, dessen linke Seite in Beziehung auf den elektrischen Strom nordpolarisch ist. Der der Länge nach übergespannte Draht ist meistens mit Seide übersponnen, oder man legt unter ihn ein seidenes Band, um ihn von dem Stahldrahtgewinde zu isoliren, welches indeſs nicht einmal nothwendig ist, da ohnehin die Elektricität den kürzesten Weg wählt.

8. Wird der gerade Leitungsdraht der Elektricität einer groſsen Flasche oberhalb der eben beschriebenen Stahldrahtgewinde hingeleitet, so ist die dadurch erzeugte Polarität die entgegengesetzte derjenigen, welche er unter demselben hingeführt erzeugt, einerlei Richtung des elektrischen Stromes vorausgesetzt. Es scheint hieraus zu folgen, daſs ein durch die Mitte eines solchen Gewindes durchgeführter gerader Draht einen doppelten Transversalmagnet mit entgegengesetzter Polarität bilden müſste, allein es hat mir und andern, so viel ich weiſs, bisher nicht gelingen wollen, solche Magnete darzustellen, indem die Drahtgewinde gar keinen, oder nur unmerklichen, und keiner Prüfung fähigen Magnetismus annahmen. Dieses stimmt mit dem oben No. 5 erzählten Resultate überein, welches Davy erhielt, wenn er den Leitungsdraht quer durch den gemeinschaftlichen Schwerpunct zweier parallel mit einander zusammengebundener Stahlnadeln zog, und diese dann erst durch den Batteriefunken jede einzeln magnetisirt fand, wenn sie von einander getrennt wurden. De la Borne will indeſs durch dieses Verfahren Transversalmagnete mit nur zwei einander gegenüberstehenden Polen erhalten haben[1], und die Polarität derselben soll nach der Richtung der Windungen des Stahldrahtes verschieden gewesen seyn. Letzteres widerstreitet indeſs der Natur der Sache, indem die erzeugte Polarität bloſs von dem Leitungsdrahte der Elektricität, auf keine Weise aber

1 G. LXXII. 17.

von der Lage des ihm genäherten Körpers abhängt. Vielleicht können doppelte Transversalmagnete aus Windungen von grösserem Durchmesser vermittelst mächtiger Batteriefunken erhalten werden[1].

9. Die holländischen Physiker van Beek, van Rees und van Moll magnetisirten Stahlnadeln[2], indem sie dieselben über die Schenkel des in einen Winkel gebogenen Entladungsdrahtes der elektrischen Flasche legten, und erhielten hierdurch dreipolige Nadeln, deren Polarität aus der Bezeichnung in der Figur ersichtlich ist, wenn die Nadel abcd über dem Drahte lag, die Richtung des elektrischen Stromes gleichfalls so angenommen, wie sie in der Zeichnung angedeutet ist. Ueber einem Drahte mit mehreren solchen Biegungen erhielt die Nadel eine der Menge derselben proportionale Menge Pole. Fig. 71.

10. Noch eine Reihe interessanter Versuche der eben genannten Physiker über die Wirkungen des geraden Leitungsdrahtes der Flaschenelektricität nehme ich ihrer Wichtigkeit wegen zusammen, erlaube mir indeſs dabei die Bezeichnungen der erhaltenen Polarität so abzuändern, wie sie der Natur der Sache nach seyn muſsten, weil sie sonst mit den eben erwähnten und andern Beabachtungen der nämlichen Physiker im Widerspruche stehen würden, und auch schon Gilbert[3] gezeigt hat, daſs nothwendig ein Irrthum dabei obwalten müsse. Ging der elektrische Entladungsdraht ef der Länge nach über eine 3,8 Z. lange und 2,5 Z. breite Stahlplatte abcd, so wurde sie an beiden Seiten magnetisch. Schwächere Schläge nachher durch den Draht ki theilten derselben nur bis an ml, m'l' Polarität mit. Wurde der elektrische Funke vermittelst eines Drahtes durch eine durchbohrte Stahlscheibe geleitet, so zeigte sie sich nicht polarisch, bis sie mit einer Blechschere durchschnitten war, worauf jede Hälfte sich entgegengesetzt polarisch zeigte. Dieses Resultat steht übrigens mit Davy's Beobachtungen an zusammengebundenen Stahlnadeln[4], noch mehr aber mit Erman's[5] ganz gleichen directen Versuchen der Magnetisirung Fig. 72.

---

1 Vergl. unten IV. D. 1. 4.
2 G. LXXII. 13.
3 Ann. LXXII. 23.
4 S. oben No. 5.
5 Seebeck in Berlin. Denksch. 1820—21. S. 338.

von Stahlscheiben im Widerspruche, auch ist es kaum glaublich, dafs eine in der Mitte durchschnittene Stahlscheibe wirklich unipolar magnetisch seyn sollte, da bei einem jeden künstlichen Magnete sofort beide Pole zum Vorschein kommen. Ueber eine quadratische Stahlplatte ABCD wurde auf einer Glastafel ein mehrfach gebogener Draht EFGHIKL gelegt, und durch diesen eine starke Batterie entladen, wodurch die Platte den in der Figur angedeuteten Magnetismus erhielt. Blofs der Form nach verschieden ist der Versuch, dafs durch ein Loch G in der Messingplatte ABCD eine unmagnetische Nadel gesteckt, dann die Glasscheibe HIKL auf die Platte gelegt, der Draht EF hinübergespannt und durch diesen mehrere Flaschenschläge geleitet wurden, worauf sich die Nadel stark magnetisch zeigte. Cylinder von Stahl, durch welche Flaschenschläge vermittelst eines Drahtes in einer Glasröhre geleitet wurden, verhielten sich ganz wie die erwähnte Stahlscheibe[1].

Fig. 73.

Fig. 74.

11. So wie das oben erwähnte Angezogenwerden des Eisenfeilicht durch den galvanischen Verbindungsdraht kräftiger hervortritt, wenn der letztere spiralförmig gewunden ist, so geschieht auch auf gleiche Weise das Magnetisiren der Stahlnadeln leichter und kräftiger durch gewundene Drähte. Inzwischen bediente man sich hierzu von Anfang an vorzugsweise der schraubenförmigen Windungen, hatte dabei aber Mühe, zur Verständigung über die entstandenen Pole, die entgegengesetzten Richtungen dieser Windungen gehörig zu bezeichnen, ohne alle Schwierigkeiten und Mifsverständnisse in den Ausdrücken des *rechts* und *links* Gewundenseyns gehörig zu vermeiden[2]. Inzwischen hat man hierüber folgende Bestimmung angenommen[3]. Wenn man sich denkt, dafs jemand einen von ihm abgekehrten Cylinder horizontal hält, die obere Seite des ihm zugewandten Endes mit dem Finger berührt, diesen nach der rechten Seite herab unter dem Cylinder durch und wieder aufwärts führt, und so bis ans Ende fortfährt, also in der Richtung, *wie die Schrauben geschnitten werden*, so nennen die Botani-

---

1 Edinb. Phil. Journ. 1822. Apr. G. LXXII. 12.

2 Vergl. Gilbert Ann. LXIX. 211.

3 S. Demonferrand Manuel de l'Électricité dynamique. Par. 1823. 8. Deutsch. Handbuch der dynamischen Elektricität u. s. w. von Fechner. Leipz. 1824. §. 86.

ker diese Windung *rechts (dextrorsum)* gewunden, die in entgegengesetzter Richtung laufende aber *links (sinistrorsum)* gewunden. Es gilt dann ferner das allgemeine Gesetz, daſs, *wenn der elektrische Strom die Richtung der Windungen verfolgt, bei einer rechts gewundenen an der Seite, wo er anfängt, den Südpol, und wo er endigt, den Nordpol erzeugt.* Bei links gewundenen Schraubenlinien ist die Wirkung die entgegengesetzte.

In wie fern dieses mit dem Oersted'schen Fundamentalversuche übereinstimme, läſst sich auf folgende Weise leicht zeigen. Es folgt nämlich aus allen bisher mitgetheilten Erscheinungen, daſs ein elektrischer Leitungsdraht, wenn man den Strom der Elektricität von sich abwärts flieſsend denkt, in derjenigen Richtung, in welcher der Nordpol der Magnetnadel um ihn läuft, nordpolarischen Magnetismus erzeugt. Legt man also eine Stahlnadel oder ein Stahlblech *unter* den Draht, so muſs links vom Beobachter ein Nordpol gebildet werden, und diese Wirkung bedeutend verstärkt hervortreten, wenn der Draht in mehreren Windungen um die Nadel geschlungen wird, ohne dieses Verhältniſs gegen dieselbe zu ändern. Um dieses zu ver- Fig.
sinnlichen, sey a b der elektrische Leitungsdraht, die Richtung 75.
des Stromes so, wie die Zeichnung angiebt, genommen; c e f d sey eine Glasröhre mit einer durch sie gesteckten Nadel, so wird die letztere *unter* dem Leitungsdrahte durch den elektrischen Strom die in der Zeichnung angedeutete Polarität annehmen. Man drehe nun die Spitze der magnetisirten Nadel gegen sich, das + Ende zugewandt, fasse den Draht a, und winde ihn um die Glasröhre von oben nach unten in der Richtung der gezeichneten Linie, bis das Ende a nach a' kommt, das andere Ende b dann gleichfalls von oben nach unten herab in der Richtung der Linie, bis es nach b' kommt; so bleibt die Lage des + und — Endes der Stahlnadel gegen den Draht unverändert, und muſs daher dieser nämliche Magnetismus, jedoch in gröſserer Stärke, in ihr erzeugt werden. Man hat also in diesen vielfachen wirrigen Constructionen zur Erhaltung einer klaren Vorstellung und deutlichen Orientirung nichts weiter im Gedächtnisse zu behalten, als den elektromagnetischen Hauptversuch. Uebrigens ist die hier angegebene Windung eine *links gewundene.*

12. Arago[1] war der erste, welcher durch die eben genann-

1 Vergl. oben No. 4.

ten schraubenförmigen Windungen des galvanischen Leitungsdrahtes Stahlnadeln magnetisirte, und auch sogleich die Entdeckung damit verband, daſs in ein und derselben Nadel mehrere abwechselnde Pole erzeugt wurden, wenn er die Windungen des Drahtes zuerst nach einer Richtung laufen lieſs, dann nach einer Unterbrechung durch eine kurze gerade Strecke in der entgegengesetzten, und so in mehreren Wechseln.

13. Aehnliche Versuche wurden seitdem in Menge angestellt, dienten aber nur dazu, die einmal gemachten Erfahrungen zu bestätigen. Am ausgezeichnetsten sind diejenigen, welche die italienischen Physiker Gazzeri, Marchese Ridolfhi Antinori und Graf Bardi schon im Jahre 1820 und 21 anstellten [1]. Sie bedienten sich dazu zweier kupferner Kasten, deren jede einzelne Zinkplatte 507,5 Quadratzolle maſs, und die mit Wasser und $\frac{1}{60}$stel Schwefelsäure gefüllt, beide aber zu einem einzigen Apparate vereinigt waren. Die Stärke des hierdurch in schraubenförmigen Drahtgewinden erzeugten Magnetismus erreichte in einer Minute schon das Maximum, ohne durch längere Einwirkung des elektrischen Stromes weiter verstärkt zu werden, auch war die Verlängerung des Leitungsdrahtes bis zum gewundenen Theile von keinem Einflusse. Es machte ferner keinen Unterschied, ob das Drahtgewinde mit der Nadel sich von Luft umgeben, oder unter Wasser, unter Eis, oder in einer an beiden Seiten verschlossenen Glasröhre befand. Ferner wurden die Nadeln magnetisch, die schraubenförmigen Windungen mochten weiter von einander abstehen, oder bis zur Berührung einander genähert seyn, selbst wenn sie von Auſsen mit einem Stanniolstreifen umgeben waren, nur nicht in einem Blechcylinder, wenn dieser einen Theil des Leitungsdrahtes ausmachte. Umgab dagegen der Schlieſsungsdraht in schraubenförmigen Windungen eine Röhre von Messing, worin sich die Nadel befand, so wurde diese noch stärker magnetisch, als in einer Glasröhre. War das Drahtgewinde durch Umwickelung eines dreiseitigen Prisma oder eines Parallelepipedums gebildet, so wurde die Nadel darin so gut magnetisch, als in einem umwundenen Cylinder, dagegen waren zickzackförmige Biegungen, so wie hin und zurücklaufende Flechtungen des Drahtes ohne Wirkung, auch machte die Art des Metalles,

1 Bibl. univ. XVI. 101. G. LXXI. 262.

woraus die Windungen bestanden, überall keinen Unterschied. Daſs übrigens diese Physiker keinen Magnetismus in Nadeln an der Auſsenseite der schraubenförmigen Drahtgewinde entstehen sahen, ist durch spätere Versuche vielfach berichtigt, denn hier wird er zwar schwächer als im Innern der Windungen und von entgegengesetzter Polarität erzeugt, allein seine Entstehung daselbst ist nicht minder gewiſs und sicher[1].

14. So wie ein schraubenförmig gewundener Draht als Leiter der galvanischen Elektricität eine stärkere Wirkung in Hervorbringung des Magnetismus äuſsert, als ein gerader, eben so ist dieses auch der Fall bei der *Reibungselektricität,* und da die Versuche hiermit so leicht anzustellen sind, und so auffallende Resultate geben, so hat man sie auch weit häufiger wiederholt als jene, welche zum vollständigen Gelingen gröſsere Apparate erfordern, als gegenwärtig in der Regel für die physikalischen Cabinette angeschafft sind, denen eine hinlänglich starke Elektrisirmaschine und die zur Anstellung dieser Versuche erforderlichen Flaschen überall nicht zu fehlen pflegen. Es wird daher genügen, nur die ausgezeichnetsten Versuche hier anzugeben. Hierhin gehören vorzüglich die durch v. Yelin angestellten, welcher zuerst diese Wirkung der Reibungselektricität auffand, indem er Arago's Versuche nachmachte, die nach seiner Meinung mit einer gewöhnlichen elektrischen Batterie angestellt seyn sollten, obgleich er sich wirklich dabei eines Volta'schen Apparates bedient hatte[2]. Beide fanden auch sogleich das wichtige Gesetz bestätigt, daſs der Magnetismus hierbei, seinem übrigen Verhalten analog, durch keinen elektrischen Isolator zurückgehalten wird, und es daher ganz gleich ist, ob die Windungen des Leitungsdrahtes der Elektricität um Glas, Seide, Papier, Wachstaffent, Leinewand, Holz u. dgl. gewunden sind, und diese Substanzen die Stahlnadeln einschlieſsen, oder ob sie von Luft, Wasser u. s. w. umgeben sind. V. Yelin fand ferner, daſs es auch bei dieser Art zu magnetisiren nicht sowohl auf die Menge der einfachen elektrischen, oder der Batterie-Funken, als vielmehr auf ihre Stärke ankomme, indem eine einzige Entladung einer starken Flasche den Magnetismus so

---

1 Vergl. Boeckmann bei G. LXVIII. 15.

2 G. LXVI. 406. LXVII. 17.

vollständig in der Stahlnadel hervorruft, als es durch die gegebene Stärke der Elektricität geschehen kann.

15. Die Art der Anstellung dieser Versuche ist sehr einfach, und man darf annehmen, daſs es auſser einem später zu erwähnenden nur drei leicht zu verfertigende Apparate giebt, welche die Gesammtheit dieser Erscheinungen umfassen. Der
Fig. 76. eine besteht aus einer einfachen, 4 bis 6 Z. langen und so weiten Glasröhre, daſs eine Stahlnadel von etwa 0,25 bis 1 Lin. Durchmesser bequem hineingeschoben werden kann. Um diese wird ein Kupferdraht (unächte silberne Claviersaite) von etwa 0,2 Lin. Durchmesser in Windungen, welche 1 bis 2 Lin. von einander abstehen können, gewunden, und der Draht an beiden Enden der Glasröhre mit gewichsten Seidenfäden so festgebunden, daſs seine Enden 0,5 bis 1 Z. in der geraden Richtung der Glasröhre über diese hervorragend fortlaufen. Vermittelst dieser Enden wird er in willkürlicher Lage und Richtung gegen Horizont und Weltgegenden so befestigt, daſs der elektrische Flaschenfunken durch seine ganze Länge strömen kann, wodurch dann die in der Glasröhre befindliche Stahlnadel in einen bipolaren Magnet verwandelt wird, dessen Polarität auf die oben in No. 11 angegebene Weise bestimmt werden kann, und durch die Zeichnung ausgedrückt ist. Diesem ähnlich ist ein zweiter
Fig. 77. Apparat, welcher aus zwei gleichen, parallel neben einander liegenden, und mit dem nämlichen Drahte auf die angegebene Weise umwundenen Glasröhren besteht, wobei die Windungen sich zwischen beiden Röhren durchkreuzen, und daher einander entgegengesetzt sind. Ein einziger durch diese Windungen geleiteter Flaschenschlag macht die zwei Stahlnadeln in beiden Glasröhren zu bipolaren Magneten mit einander entgegenstehenden Polen, so daſs in den vereinigten Röhren die freundschaftlichen Pole an einander liegen. Der dritte Apparat endlich fällt mit dem ersten sehr nahe zusammen, jedoch nimmt man
Fig. 78. dazu eine etwas längere Glasröhre, umwindet diese zuerst einige Zolle nach einer Seite, bindet den Draht daselbst fest, führt ihn etwa 0,5 Z. mit der Axe parallel fort, bindet ihn daselbst abermals fest, beginnt die Windungen aufs Neue in entgegengesetzter Richtung, und wiederholt diesen Wechsel so oft, als man einen Wechsel der Pole oder die sogenannten *puncta consecutiva* erhalten will. Man erhält also auf diese Weise an der nämlichen Stahlnadel von α bis β einen bipolaren Magnet, von γ

bis δ einen zweiten mit entgegengesetzter Lage der Pole, zwischen ε und z einen dritten mit der nämlichen Richtung der Pole wie im ersten u. s. w. so oft die Windungen wechseln, wobei nothwendig mit Ausnahme der Endpole allezeit zwei gleiche Pole vereinigt seyn müssen. Die holländischen Physiker van Beek, van Moll, van Rees und van den Bos erhielten auf diese Weise durch achtmaligen Wechsel einen 24 Z. langen Stahlstab mit 16 Polen[1].

16. Eine eigene Erwähnung verdienen insbesondere noch Boeckmann's früh angestellte Versuche[2]. Dieser eifrige Experimentator ging bei der Prüfung des Verhaltens der schraubenförmigen Windungen nicht bloſs von dünneren Glasröhren zu dickeren und selbst sehr dicken Glascylindern über, ohne daſs durch die weitere Entfernung eine merkliche Abnahme der Stärke des erregten Magnetismus wahrnehmbar wurde, sondern er verfertigte auch aus leichten hölzernen Stäben eine Art von Trommel, oder ein Gerippe zu derselben, welches 8 Fuſs im Durchmesser haltend mit einem 750 F. langen Messingdrahte in 30 Windungen umsponnen war. In verschiedenen Abständen von diesen Windungen wurde eine Glasröhre mit einer Stahlnadel der Axe parallel eingelegt, und weiter vom Drahte bis zur Axe der Trommel entfernt. In diesem Abstande vom Leitungsdrahte, welcher 4 F. betrug, fingen zwar die durch einen Batteriefunken aus 5 Flaschen zusammen mit 1500 Quadratzoll Belegung erregten Magnetismen an zu verschwinden, aber es ergab sich doch so viel deutlich, daſs stärkere Flaschenschläge auch auf diese und ohne Zweifel noch auf gröſsere Entfernungen Stahlnadeln magnetisch zu machen im Stande seyn müssen.

17. Daſs man sich auch der *Spiralwindungen* (archimedeischer Schneckenlinien) zur Erregung des Magnetismus auf die angegebene Weise durch Reibungselektricität müsse bedienen können, leidet aus theoretischen Gründen keinen Zweifel, unter den Versuchen aber, welche hiermit angestellt seyn mögen, sind mir nur diejenigen bekannt, welche W. Pfaff beschrieben

1 G. LXXII. 14. In der Zeichnung ist nur ein Wechsel angedeutet, welches die Entstehung des mittleren Poles besser versinnlicht.

2 G. LXVIII. 9. Vergl. v. Althaus Versuche über d. Elektromagnetismus. Heidelb. 1821. S. 34.

hat[1], und diesen ähnliche von Ampère[2]. Sie bieten im Wesentlichen nichts Neues dar, und bestätigen hauptsächlich nur im Allgemeinen den Satz, daſs der Magnetismus im Centrum dieser Spiralen bedeutend stärker ist, insbesondere wenn die Windungen einander sehr nahe sind. So wurde eine Nadel von 1,5 Z. Länge, welche W. Pfaff in das Centrum einer Spirale so legte, daſs sie als Radius von 20 Windungen durchschnitten wurde, durch einen einzigen schwachen Funken stark magnetisch. Eine symmetrisch gegen die Windungen der Spirale liegende Stahlnadel erhält durch den elektrischen Funken an beiden Enden gleiche Pole, nach der Mitte hin die entgegengesetzten, und wird in der Mitte indifferent. Mehrere andere Erscheinungen sind von ihm theils aus der Theorie geschlossen, theils durch die Versuche aufgefunden. Werden die Wirkungen der spiralförmig gewundenen Drähte mit denen der schraubenförmigen verglichen, so muſs eine über das Centrum der Spirale gelegte, an beiden Enden über sie hinausreichende Nadel drei Pole erhalten. Weil es aber wichtig ist, alle verschiedenen Erscheinungen in einen Zusammenhang zu bringen, und auf das nämliche Gesetz zurückzuführen, so hielt ich es der Mühe werth, diese Versuche mit einer einzigen Flasche von 11 Quad. Fuſs Belegung zu wiederholen, und erhielt hieraus folgende Resultate.

Fig. 79.

18. Ist die Elektricität kräftig, und der Draht der Spirale nicht stark mit Seide übersponnen, so entsteht in den Stahlnadeln schwache Polarität oder gar keine, und überhaupt sind die Erscheinungen regellos und können leicht täuschen, weil der Strom der Elektricität entweder die Nadel selbst ergreift, und ihrer Länge nach durchströmt, oder durch einige Windungen unter ihr hinläuft, und dann an ihr selbst seinen Weg fortsetzt. Sind auſserdem die Windungen einer Spirale einander sehr nahe, so werden sie leicht vom elektrischen Strome nicht in ihrer ganzen Länge durchlaufen, und auch hieraus entstehen Täuschungen. Wenn man aber eine Spiralscheibe anwendet, deren Windungen mindestens eine Linie von einander abstehen, diese horizontal legt, mit einer Glasscheibe bedeckt und auf dieser die Stahlnadel ruhen läſst, so sind die Resultate allezeit unzweideutig und mit dem angegebenen Gesetze durchaus übereinstim-

1 G. LXIX. 84.

2 Demonferrand a. a. O. §. 87.

mend. Liegt nämlich die Nadel auf der horizontalen Scheibe so, dafs eine durch die Axe der Nadel gehende verticale Ebene das Centrum der Scheibe durchschneidet, oder legt man sie mit dieser genannten zu beiden Seiten parallel, die Enden mögen über die Scheibe überstehen oder mit ihrer Grenze zusammenfallen, oder einige Windungen überstehen lassen, so erhält die Nadel jederzeit zwei gleiche Pole an beiden Enden, und den entgegengesetzten in ihrer Mitte. Wenn aber die Nadel blos vom Rande der Scheibe bis in ihr Centrum reicht, so erhält man einen zweipoligen Magnet. Die Polarität selbst, eben wie die ganze Erscheinung, ist dem angegebenen allgemeinen Gesetze durchaus angemessen. Ist nämlich die Richtung der Windungen so, dafs die Elektricität von Norden durch Osten nach Süden strömend, und durch Westen zurückkehrend gedacht werden kann, so erhalten die über ihnen liegenden Theile des Stahldrahtes in Osten und Westen Südpolarität, während die Mitte einen Nordpol erhält.

19. So wie der elektrische Strom in unmagnetischen Stahlnadeln den Magnetismus hervorruft, so mufs derselbe auch bei überlegener magnetischer Stärke die Polarität der Nadeln umkehren. Diese auf theoretischen Gründen beruhende Folgerung ist durch die Erfahrung vielfach bestätigt[1].

20. Es dringt sich bei diesen Betrachtungen die Frage auf, wie es zugehen möge, dafs ein einziger kräftiger Flaschenschlag im Stahl bleibenden Magnetismus erregt, da doch die so leicht bewegliche Magnetnadel unter dem entladenen Drahte nicht die mindeste Wirkung zeigt. Inzwischen liegt die Beantwortung dieser Frage nicht fern, und verstattet zugleich einen belehrenden Blick über das Verhalten der Elektricität überhaupt. Am bestimmtesten drückt sich Demonferrand[2] hierüber aus, wenn er sagt, das Magnetisiren bestehe auf allen Fall in der Hervorrufung einer neuen Disposition in einem Fluidum von ausnehmender Feinheit, wozu eine Wirkung von ganz kurzer Dauer schon genügen kann, während die Ablenkung der Magnetnadel erfordert, dafs einem Körper von bestimmbarem Volumen und Gewicht eine endliche Geschwindigkeit mitgetheilt werde, wozu keine, nur ein Minimum der Zeit wirkende Kraft ausreicht.

---

1 S. unter andern Hill in Schweigg. J. XXXIV. 290 ff.

2 Handbuch der dynam. El. S. 130.

Eine Ablenkung der Magnetnadel wird daher nicht erfolgen können, wenn die, zwei elektrische Pulsus trennende, Zwischenzeit so unbedeutend ist, daſs die Wirkung des ersten durch die Trägheit der Nadel und die ihrer Bewegung entgegenstehenden Hindernisse aufgehoben wird, bevor der zweite eintritt[1]. Inzwischen bemerkt man bald, daſs diese Hypothese Demonferrand's, welcher auch Ampère und die Anhänger der Theorie des letzteren beipflichten, keineswegs hinlänglich begründet ist, und der Schwierigkeit des Problems eigentlicher ausweicht, als sie selbst genügend beseitigt. Es ist daher nothwendig, diese schon einmal erwähnte Frage[2] am geeigneten Orte nochmals gründlich zu untersuchen[3].

C. Wirkungen des Magnetes auf die elektrischen Leiter.

Die Beobachtung der durch den Magnetismus des galvanischen Leitungsdrahtes bewegten Magnetnadeln muſste nothwendig auf die Folgerung führen, daſs auch umgekehrt *durch einen festen Magnet der Leitungsdraht bewegt werden könne*, und wirklich war man auch gleich vom Anfange an bemüht, diese Modification des neu entdeckten Elektromagnetismus genauer zu ergründen. Indeſs hatte die Aufgabe, solche umgekehrte Bewegungen darzustellen, groſse Schwierigkeiten, weil sich auf keinen Fall ein mit den Elektromotoren verbundener galvanischer Leiter so leicht und fein balanciren läſst, als eine Magnetnadel. Schweigger[4] war der erste, dem es gelang, Bewegungen dieser Art unzweifelhaft, wenn auch weniger vollkommen darzustellen. Seitdem sind aber gerade die hierzu gehörigen Apparate auf eine merkwürdige Weise vervollkommnet und ausnehmend vervielfacht; sie zerfallen wieder in zwei Classen, nämlich zuerst diejenigen, bei denen die *Bewegung nur durch einen Magnet hervorgebracht wird*, und solche, welche *als Folge ihres eigenen Magnetismus nicht bloſs durch einen Magnet bewegt werden, sondern auch der Einwirkung des tellurischen Magnetismus folgend, sich polarisch in den magnetischen Meridian einstellen.* Der Unterschied beider ist nicht

1 Vergl. unten IV. F. I.
2 Oben III. A. 13.
3 S. unten IV.
4 Journ. XXXI. 8.

wesentlich, indem jeder wirklich magnetische Körper auch jeder auf ihn einwirkenden magnetischen Kraft folgen muſs, und hieran nur durch seine geringere magnetische Kraft oder minder leichte Beweglichkeit gehindert werden kann. Zur leichteren Uebersicht will ich indeſs hier bloſs die ersteren betrachten, und in einem folgenden Abschnitte die wesentlichsten der letzteren gleichfalls zusammenstellen.

1. Unter den vielen für diesen Zweck vorgeschlagenen Apparaten verdient der *Erman'sche Rotationsapparat* den ersten Platz, sowohl rücksichtlich der Zeit seiner Erfindung, als auch wegen der Zweckmäſsigkeit seiner Construction. Erman[1] schlägt deren zwei vor, wovon ich den vorzüglichsten mit einiger, mir zweckmäſsig scheinender, Abänderung kurz beschreiben will. Fig.
Ein im Durchschnitt gezeichneter Becher vom dünnsten Silber 80.
a b hat vom Boden aus den aufwärtsgehenden hohlen Cylinder c d, so daſs also beide Cylinder einander parallel laufen. Die innere Röhre, zwischen 0,5 bis 0,75 Z. im Durchmesser haltend, ist etwas höher, und hat oben vier kleine Löcher, mit den durchgezogenen und festgebundenen Seidenfäden α, α, welche in einen gehörig starken ungezwirnten Seidenfaden β vereinigt sind, damit letzterer den ganzen Apparat trägt, und leicht beweglich macht. Am Boden des äuſseren, gröſseren Cylinders von 1,5 Z. Durchmesser liegt eine so durchbohrte dünne Glasscheibe, daſs der innere Cylinder bequem durch die Oeffnung derselben geht. Auf dieser isolirenden Glasscheibe ruhet der hohle Cylinder e e von Zink, und der Zwischenraum zwischen beiden Metallen wird am besten mit gesättigter Zinksolution gefüllt[2], weil verdünnte Säuren durch etwas Spritzen, insbesondere bei der Gasentwickelung, leicht die Seidenfäden zerfressen, Salz- und Salmiaksolution aber das Zink zwar nicht so stark angreifen, wie die Säuren, zugleich aber einen Ueberzug über das Silber erzeugen, welcher bei diesem Apparate nicht ohne Unbequemlichkeit weggeschafft werden kann. Der obere Rand des äuſseren silbernen Cylinders hat bei l ein kleines angelöthetes Blech mit einer Vertiefung, worin sich ein Tropfen Quecksilber befindet, um das eine, etwas herabwärts gebogene,

1 Umrisse zu den physischen Verhältnissen des ... elektrochemischen Magnetismus. Berlin 1821. 8. S. 9 ff.

2 S. oben II. B. 3.

Ende des Drahtes l m n o p s hineinzutauchen, während das andere s in dem Quecksilbertropfen eines ähnlichen kleinen Bleches am Cylinder von Zink ruhet.

Indem der letztgenannte Draht der Leiter der erregten Elektricität ist, so läſst sich aus den bekannten Wirkungen desselben auf die Magnetnadel leicht durch Umkehren sein Verhalten gegen einen genäherten Magnetpol folgern. Nach der einmal gewählten einfachen Bestimmung geht der elektrische Strom von l aus nach s. Denkt man sich also p im Norden und m im Süden, so läuft die Nordspitze der Magnetnadel unter l östlich, wird dann in die Höhe gehoben, bewegt sich über demselben westlich, an der Westseite herabwärts, und kommt auf diese Weise in ihre erste Lage wieder zurück. Eben diese Umkreisung findet in der ganzen Länge des Verbindungsdrahtes statt, wenn man seine Richtung von l bis s verfolgt. Behalten wir also für einen genäherten Nordpol der leichteren Uebersicht wegen die angenommene Richtung nach den Weltgegenden bei, und nähern dem Drahte im Puncte l einen Nordpol im Westen unterhalb einer horizontalen, die untere Fläche des Drahtes berührenden Ebene, so wird der Draht angezogen; kommt der Nordpol lothrecht unter den Draht, so weicht letzterer westlich aus; bewegt man den Magnet unter einer, die untere Fläche des Drahtes berührenden horizontalen Ebene nach Osten, so wird der Draht abgestoſsen; wäre es möglich, den in einem Puncte vereinigten Nordpol genau in einer die Axe des Drahtes schneidenden horizontalen Ebene östlich oder westlich von demselben zu halten, so würde gar kein Effect erfolgen; befindet er sich aber über dieser Ebene östlich vom Drahte, so wird dieser angezogen, lothrecht unter dem Magnete östlich abweichen, und wenn der Nordpol westlich vom Drahte über der letztgenannten Ebene gehalten wird, so muſs der Draht wieder abgestoſsen werden. Denkt man sich also einen lothrechten Durchschnitt des horizontalen Drahtes a, die Richtung des elektrischen Stromes vom Beobachter abwärts angenommen, so liegen um diesen bei Anwendung eines nordpolaren Magnetes zwei Puncte der Abstoſsung α, α'; zwei Puncte der Anziehung β, β'; zwei Indifferenzpuncte 0, 0; ein Punct der östlichen Abweichung e und ein Punct der westlichen w, welches eigentlich nichts anders ist, als das Herumlaufen des Nordpols um den Draht in der Richtung $\alpha \beta' \alpha' \beta$ umgekehrt genommen. Schiebt

man den Durchschnitt des Drahtes, welchen wir hier in l angenommen haben, in Gedanken über die ganze Länge des Drahtes bis s fort, und berücksichtigt, dafs der Draht an jeder Stelle auf gleiche Weise vom magnetischen Pole umkreiset wird, so kann für jeden einzelnen Punct des Drahtes die Bewegung desselben leicht gefunden werden. Dabei versteht sich von selbst, dafs rücksichtlich des Oben und Unten das Drahtende n o dem l m und p s entgegengesetzt ist, folglich hier auch die Wirkungen des genäherten magnetischen Poles die entgegengesetzten seyn müssen, auch versteht es sich von selbst, dafs bei der Anwendung eines Südpoles die Wirkung entgegengesetzt sey, also die Anziehung in Abstofsung, und umgekehrt die östliche Abweichung in die westliche verwandelt werden wird, blofs die beiden Indifferenzpuncte werden bleiben, weil ein so aufgehangener Draht sich nicht in verticaler Richtung bewegen kann[1]. Fig. 80.

2. Der eben beschriebene Erman'sche Rotations - Apparat ist nicht ganz wohlfeil, wenn man auch zu dem Becher Kupfer statt Silber wählen wollte, und mufs aufserdem zu dem genannten Zwecke und noch einem andern später zu erwähnenden besonders angeschafft werden. Es lassen sich indefs die angegebenen Erscheinungen auch vermittelst einer andern Vorrichtung darstellen, welche durch v. Althaus[2] bald nach der Entdekkung des Elektromagnetismus in Vorschlag gebracht ist, und blofs aus einem gehörig gebogenen und an einem Faden ungezwirnter Seide fein balancirten Drahte besteht. Man hat seitdem bei den zahlreichen angegebenen Drehungsapparaten diese Art des Aufhängens nicht weiter benutzt, sondern sich vielmehr des Balancirens auf feinen Stahlspitzen bedient; weil aber jene die gröfste Beweglichkeit gewährt, und der Apparat aufserdem noch zu einem andern Zwecke dient, so möge er hier eine Stelle finden. Auf einem schmalen Brette A B wird die gebogene Glasröhre a b c aufgerichtet, welche an ihrem Ende den kleinen Becher m mit Quecksilber trägt. In diesem Quecksilber ist der Draht mit seinem krummgebogenen Ende e frei beweglich, und wird selbst durch den ungezwirnten Seidenfaden r am Häkchen Fig. 82.

---

1 Die von Erman beobachteten Wirkungen der beiden Pole eines Hufeisenmagnetes besonders anzugeben scheint mir überflüssig, da sie sich aus dem Gesagten von selbst ergeben.

2 Versuche über den Elektromagnetismus. S. 4.

s getragen. Der Draht bildet dann von e und f durch g h i und k einen Kreis, welcher durch das Quadrat g l o p genau balancirt ist, und senkt sich mit der untersten Spitze in das Quecksilberschälchen n, so daſs die obere und untere Spitze nebst den Puncten f und p in eine lothrechte Linie fallen. Da wo die Biegungen sich berühren würden, sind sie durch ein Stückchen Taffent isolirt zusammengebunden, und das Ganze kommt vermittelst der Quecksilberbecher in den elektrischen Kreislauf[1].

3. Auch diese Vorrichtung erfordert wieder einen eigenen, für sich bestehenden Apparat, durch welche Vereinzelung die Zahl der Vorrichtungen zu den zahlreichen Versuchen ausnehmend vervielfältigt wird. Weit zweckmäſsiger hat man daher einen *allgemeinen Apparat* zu construiren gesucht, vermittelst dessen sich die vielfachsten Erscheinungen darstellen lassen. Es sind mehrere dergleichen in Vorschlag gebracht, z. B. von Demonferrand[2] zwei, durch die mannigfachen Combinationen, welche sie gestatten, allerdings ausgezeichnete, indeſs scheint mir der durch Ampère angegebene seiner Einfachheit und nicht übermäſsigen Kostbarkeit und Zusammengesetztheit wegen der beste, schon in so fern, als es nicht zweckmäſsig ist, die Vorrichtungen zu allen Versuchen vereinigen zu wollen, weil man sie nicht sämmtlich zu gleicher Zeit anstellt, oder bei der Demonstration vorzeigt.

Fig. 83. Ampère's[3] Apparat besteht aus einem Tische, welcher zur Vermeidung nicht gesuchter elektrischer Einflüsse mit einem isolirenden Firnisse überzogen ist, und von Säuren oder Salzsolutionen frei erhalten werden muſs. Um das unvermeidlich aus den kleinen Küpen herabfallende Quecksilber wegzuschaffen, befindet sich bei P eine Oeffnung, in welche man dasselbe vermittelst einer Feder zusammen kehren, und in dem Schubkästchen V vereinigen kann. Als wesentliche Theile dieses Apparates sind anzusehen die zwei Paar in einer verticalen Ebene

1 Die Wirkungen des Magnetes auf diesen Draht und die Richtungen der erzeugten Bewegungen übergehe ich, weil sie aus dem unter No. 1 Gesagten von selbst folgen.

2 Handbuch der dynamischen Elektricität u. s. w. Bearbeitet von Fechner. Leipz. 1824. 8. S. 12 ff.

3 Ann. de C. P. XXVI. 390 ff. Es ist dieses eine Verbesserung des früher nebst den damit anzustellenden Versuchen beschriebenen. S. ebend. XVIII. 88.

liegenden kleinen Küpen x′y′; y,x; die sich zugleich zu zwei Paaren in einer horizontalen Ebene liegenden x′,y; y′,x vereinigen lassen, und die einzelne Küpe S, alle mit etwas Quecksilber gefüllt, und die beiden ersteren durch alle Azimuthe beweglich. Hauptsächlich muſs bei einem solchen Apparate dahin gesehen werden, daſs die Drähte, durch welche die erregte Elektricität zu den einzelnen Vorrichtungen geleitet wird, am Tische unbeweglich sind, damit man sie während des Experiments nicht zu halten nöthig hat, und daſs zugleich der Kreislauf der Elektricität schnell umgekehrt werden kann, damit die einander entgegengesetzten Wirkungen sogleich hervorgehen. Das Erstere erreicht man leicht, indem man die Drähte vermittelst einer auf dem Tische befestigten Klemmschraube p zwischen zwei kleine Brettchen festklemmt, während ihre etwas umgebogenen Spitzen in die Vertiefungen A und a getaucht sind. Schwieriger ist es, den elektrischen Strom augenblicklich zu unterbrechen und seine Richtung umzukehren. Hierzu dient diejenige Vorrichtung, welche in vergröſsertem Maſsstabe besonders dargestellt ist, mit gleicher Bedeutung der Buchstaben in beiden Figuren. Zwei kleine Brücken K und k, um eine Axe α,α' und β,β' beweglich, sind ohngefähr 1 Z. über die Fläche des Tisches erhoben, und bestehen aus zwei Stücken Kupfer durch gefirniſstes Holz oder Elfenbein isolirt. Die Kupferbleche haben an jeder Seite zwei, im Ganzen also vier Lappen, welche vermöge durchkreuzender Verbindungen den elektrischen Strom entweder in der einen oder in der entgegengesetzten Richtung zu leiten bestimmt sind. Wird nämlich die eine dieser Brücken, die links gezeichnete, nach der rechten Seite herabgedrückt, so senken sich die dort befindlichen vier Lappen in die Rinnen A, B und in die Vertiefungen C, D; wird sie dagegen nach der linken Seite hin herabgedrückt, so werden die an dieser Seite liegenden Lappen in die Rinnen A, B und in die Vertiefungen C′ und D′ herabgedrückt; sind die Brücken horizontal, so findet keine Verbindung zwischen ihnen und dem galvanischen Leiter statt. Die beiden Vertiefungen stehen mit einander in Verbindung, nämlich C mit C′ und D mit D′ durch Drähte, welche mit Seide umwunden und durch ein Stückchen Glas zwischen ihrer Durchkreuzung von einander isolirt getrennt sind. So wie diese Brücke dem Leiter des einen galvanischen Poles dient, so ist die zweite für den des andern bestimmt, mit

Fig. 84.

einander correspondirenden Buchstaben zur Bezeichnung der einzelnen Theile. Links niedergedrückt sinken also die 4 kupfernen Lappen in die Rinnen B, a und die Vertiefungen c, d; rechts niedergedrückt in B, a und c', d'. Für die erste Brücke ist eine
Fig. 84. Verbindung bewerkstelligt zwischen der Vertiefung G und den durch einen Draht oder Kupferstreifen verbundenen Vertiefungen C und C'; desgleichen zwischen der Vertiefung H und den verbundenen Vertiefungen D und D'. Auf gleiche Weise ist für die andere eine Verbindung hergestellt zwischen c und c' und dem kleinen Becher S, dessen Höhe vermittelst der Stellschraube z regulirt wird, welche sich unter dem Tische befindet; desgleichen mit der Säule E T vermittelst des federnden Metallstreifens J J', welcher gleichfalls unter dem Tische angebracht ist. Von der andern Seite findet eine Verbindung statt zwischen den Vertiefungen d und d', und den beiden halbkreisförmigen Rinnen M N, m n mit Quecksilber gefüllt, und mit dem Drahte t u v versehen, welcher nebst der unter ihm fein balancirten Magnetnadel als Galvanometer dient. Von hieraus geht die Verbindung zur Säule F U und der Vertiefung O.

Die Säulen E T, F U sind von Kupfer, und dienen dazu, den elektrischen Strom in der einen oder der entgegengesetzten Richtung, je nach der Lage der beschriebenen Brücken K und k, in einem geschlossenen Kreise herumzuleiten, zugleich aber die aufgehangenen Schälchen x, y; x', y' mit in diesen Kreislauf einzuschliefsen. Zu diesem Ende ist die Säule E T vermittelst eines Drahtes mit dem Schälchen X und die Säule F U auf gleiche Weise mit Y verbunden; beide Schälchen sind von einander isolirt getrennt durch ein mit Firnifs überzogenes Glasstäbchen, woran sie festsitzen, und stehen in Verbindung X mit x und x'; Y mit y und y'. Je zwei dieser kleinen Schälchen x und y; x' und y' bieten für die aufzuhängenden Apparate zwei in einer lothrechten Linie liegende Stützpunkte dar, und eben so x und y'; x' und y zwei in einer horizontalen Ebene befindliche, welche sich vermittelst des Knöpfchens Z durch alle Azimuthe herumdrehen lassen.

Für diejenigen Versuche endlich, in denen der tellurische Magnetismus auf die beweglichen Leiter der Elektricität wirken soll, oder die letzteren zugleich in ein Gefäss mit einem flüssigen Halbleiter der Elektricität gesenkt werden, ist es nothwendig, die Rinnen A, B mit einander zu verbinden. Dieses ge-

schieht durch Ueberschlagen des in zurückgelegter Lage gezeichneten, im Charniere q beweglichen Metallstreifens Q, welcher mit zwei Vorsprüngen e, f versehen ist. Hierdurch wird der elektrische Strom durch die beweglichen Leiter geführt, indem er entweder die Säulen E T oder F U durchläuft, oder in das Quecksilbergefäfs S geleitet wird, je nachdem die beweglichen Apparate in den Schälchen x, y; x′, y′ oder in S aufgehangen sind.

4. Mit diesem Apparate versehen kann man leicht die zu den mannigfaltigsten Figuren gewundenen Drähte in den Strom der galvanischen Elektricität bringen, und ihr Verhalten gegen einen genäherten Magnetpol prüfen. Am einfachsten eignet sich hierzu die quadratische Form, und es ist um so weniger erforderlich, diese Vorrichtungen zu vervielfältigen und zusammengesetzter zu machen, als durch dieselben doch nur ein ohnehin genügend bekanntes Resultat zu erhalten ist. Wird also ein Fig. Draht, etwa 0,5 bis 0,75 Lin. dick an beiden Enden mit den 85. feinsten Stahlspitzen versehen, dann in der Richtung a b c d e zu einem Rectangel gebogen, werden dabei die bei a zusammenkommenden Theile durch ein zwischengelegtes Stückchen Seidenzeug getrennt und mit einem Faden zu grösserer Haltbarkeit zusammengebunden, die Spitzen in die mit gleichen Buchstaben bezeichneten Schälchen des (No. 3) beschriebenen Apparates gesenkt, welche mit Quecksilber gefüllt und am Boden mit einem Glasscheibchen versehen sind, strömt endlich die galvanische Elektricität entweder in der Richtung y a b c d e x oder umgekehrt geleitet, so lassen sich die oben (No. 1) beschriebenen Wirkungen des einen magnetischen Poles und des andern oder auch zweier verbundener für beide angegebene Richtungen des elektrischen Stromes hiermit nachweisen.

5. Alle drei bisher beschriebene Vorrichtungen sind blofs im Azimuthe beweglich, und zeigen daher die Erscheinungen, welche durch die Einwirkung eines Magnetes auf einen beweglichen Leiter der Elektricität hervorgebracht werden, nicht vollständig. Es läfst sich indefs die verticale Bewegung leicht auf Fig. folgende Weise erzeugen. Ein dem vorigen ähnlicher Draht, 86. an seinen beiden Enden mit vertical herabgehenden Spitzen y′, x versehen, dann in die rectanguläre Form y′ a b c d y″ x gebogen, im Puncte y und x auf die beschriebene Weise isolirt verbunden, dann so weit an den Seiten a b und d c herabgedrückt, dafs sein Schwerpunct ein Minimum unter die Spitzen y′ und x fällt, und

er also in einer horizontalen Ebene wie ein feiner Waagebalken leicht oscillirt, endlich durch Einsenken der Spitzen in die mit gleichen Buchstaben bezeichneten Schälchen gesenkt, und hierdurch in den Kreis der galvanischen Elektricität gebracht, wird die noch fehlenden verticalen Bewegungen deutlich zeigen, und gleicht in sofern einer Inclinationsnadel, wenn die anderen, früher (No. 1. 2 u. 4) beschriebenen, der Declinationsnadel correspondirend erscheinen. Auch hierbei fügen sich die Erscheinungen ohne Schwierigkeit einer leichten Uebersicht, wenn man sie auf das angegebene Gesetz zurückführt, daſs der magnetische Pol den galvanischen Verbindungsdraht umkreiset. Wird also die Richtung des elektrischen Stromes von y′ nach x angenommen, so muſs der Nordpol unter dem Ende y′ a östliche Abweichung erhalten, die Richtung dieses Endes von Norden nach Süden angenommen, mithin wird derselbe unter a b bei unveränderter Richtung südlich abweichen, und nach dieser Regel durch die ganze Länge des Drahtes. Denkt man sich nun den magnetischen Pol als fest, so kann der Draht keine Bewegung erhalten, wenn der magnetische Pol sich über oder unter dem Drahte befindet; hält man aber den Nordpol z. B. an die äuſsere Seite des Endes a b, beider Axen in einer horizontalen Ebene angenommen, so wird der Draht herabsinken; denselben Pol an der inneren Seite gehalten wird er dagegen in die Höhe steigen, und hiernach lassen sich alle Bewegungen des Drahtes für beide magnetische Pole leicht auffinden.

6. Der erste, welcher den bisher oft ausgesprochenen Hauptsatz in der Lehre vom Elektromagnetismus, nämlich *daſs der frei schwebende Pol eines Magnetes sich um den elektrischen Leiter umkreisend bewegt*, in seiner eigentlichen Bedeutung auffaſste, und dadurch einen Apparat erfand, welcher die so eben in No. 1 bis 5 beschriebenen Bewegungen in sich vereinigt, und das Gesetz selbst in das helleste Licht setzt, war Faraday[1]. Nach seiner Darstellung scheint es mir nicht zwei-

1 Ann. Ch. et Ph. XVIII. 337. G. LXXI. 133 ff. Faraday wurde hierauf durch ähnliche Versuche geleitet, als diejenigen sind, welche man oben III. A. No. 5 erwähnt findet. Was er noch weiter über die Lage des magnetischen Poles in Stahlstäben beibringt, nämlich daſs diese in gröſster Stärke nicht an den Enden derselben, sondern mehr nach der Mitte zu liegen sollen, ist hier nicht zu untersuchen, und kommt bei dem für jetzt zu erörternden Versuche nicht in Be-

felhaft, dafs er dieses Gesetz bestimmt auffafste, und folgenden Fig.
Apparat danach construirte. In einer kleinen, im Minimo nur 87.
1,5 Z. langen und 0,3 Z. weiten Glasröhre a b, welche oben etwas zusammengeblasen seyn kann, und daselbst mit einem Korke versehen ist, befindet sich oben das eine zu einem Oehre umgeschlungene Ende eines recht blanken Silberdrahtes (Kupferdrahtes), dessen anderes Ende k zu einem der Pole eines Elektromotors führt. In das genannte Oehr ist das Oehr eines gleichfalls sehr blanken dünnen Platindrahtes geschlungen, welcher mit dem andern geraden in das im unteren Theile der Röhre befindliche reine Quecksilber taucht. Letzteres wird durch den Kork b in der Röhre festgehalten, durch dessen Mitte das blanke Eisenstäbchen c d so gesteckt ist, dafs es mit dem oberen Ende etwas über das Quecksilber hervorragt, mit dem unteren vom Korke etwas entblöfst ist, und hier eine ununterbrochene metallische Fortleitung zum anderen Pole des Elektromotors vermittelst des Drahtes z giebt. Wird dann mit dem unteren Ende des eisernen oder auch stählernen Stäbchens d ein kräftiger Magnetpol in Berührung gebracht, so erhält das andere Ende c die entgegengesetzte Polarität, und bei geschlossener galvanischer Kette läuft der Platindraht um diesen künstlichen Magnetpol in einer durch den elektrischen Strom und die Polarität des Stabes bedingten Richtung [1]. Diese zu bestimmen bedarf es nach dem einmal angenommenen Hauptgesetze keiner künstlichen Demonstration. Es sey zu diesem Ende die Richtung des elektrischen Stromes durch die Bezeichnung der Verbindungsdrähte k und z angegeben; man denke sich den Apparat horizontal im magnetischen Meridiane und k im magnetischen Norden liegend, den Platindraht aber fest, so wird der Nordpol unter demselben östlich abweichen, dann in die Höhe gehoben werden, wiederum westlich abweichen, herabsinken und seinen Lauf aufs Neue beginnen. Denkt man sich nun den Magnetpol fest und den Draht beweglich, so muſs dieser in entgegengesetzter Richtung ihn umkreisen, und diese Bewegung auch beibehalten, wenn man den Apparat in eine verticale Linie richtet. Ein in einem kleinen Mafsstabe verfertigter Apparat dieser Art zeigt

trachtung, scheint mir aber auf einer Mifskennung der eben erwähnten Erscheinungen zu beruhen.

1 G. LXXI. 135.

die Erscheinung schon bei Anwendung von zwei mäfsig grofsen Platten Kupfer und Zink, wobei nur darauf zu sehen ist, dafs die Metalldrähte recht blank sind, und den elektrischen Strom nicht unterbrechen; ein gröfserer dagegen erfordert kräftigere Elektromotore. Man kann übrigens den unteren Draht z wieder in die Höhe biegen, und den Apparat in die oben III. C. 3. beschriebenen Quecksilbergefäfse x, y′ vermittels der Drahtenden k, z aufhängen, um durch Umkehrung der Richtung des elektrischen Stromes sogleich die umgekehrte Bewegung des Platindrahtes hervorzubringen [1].

7. Es ist indefs nicht zu verkennen, dafs der Platindraht durch den Widerstand des Quecksilbers bedeutend gehindert wird, welches durch Uebergiefsen mit verdünnter Salpetersäure wegen des entstehenden Oxydes nicht aufzuheben ist [2]. Aufserdem hängt der Platindraht vermittelst der Schleife im Kupferdrahte, wodurch der unmittelbare leichte Uebergang des elektrischen Fluidums gehindert und die Reibung vermehrt wird. Ungleich zweckmäfsiger sind daher Schweigger's [3] Apparate eingerichtet, woran nicht blofs das Umlaufen eines elektrischen Leiters *über* einem Pole, sondern auch *um* einen Pol des gewöhnlichen Magnetes nachgewiesen werden kann. Zum Behuf
Fig. 88. des ersteren ist g h eine flache hölzerne Scheibe mit der runden ausgedreheten Rinne r r′, bestimmt zur Aufnahme des möglich reinsten Quecksilbers. Um den Einflufs der Zuleitungsdrähte auf die bewegliche Nadel zu vermeiden, ist der vom positiven Pole ausgehende p in das Quecksilber der Vertiefung r geleitet, der vom negativen q geht unten in die Scheibe eingelassen bis in die Mitte, ist dort umgebogen, geht lothrecht durch das Centrum der Scheibe, und endigt oben in eine angelöthete feine Nähnadelspitze. Auf dieser schwebt vermittelst des kleinen Hütchens

---

1 Ampère's weitere Untersuchungen über diesen Gegenstand siehe unten E. 6. a.

2 Sturgeon's Drehapparat aus Tilloch's Phil. Mag. 1823. Sept. bei Schweigg. XLI. 241 übergehe ich seiner anscheinenden Bequemlichkeit ungeachtet, weil ich überzeugt bin, dafs bei der Kleinheit der Elektromotoren, welche sich selbst zugleich auch drehen sollen, überhaupt kein Erfolg zu erwarten ist. Besser ist Cumming's Drehapparat in Ann. of Phil. VII. 46. Indefs steht auch dieser den beschriebenen nach.

3 Journ. N. R. XVI. 27.

v die sehr leichte, aber nicht zu kurze, wohl 6 Z. lange messingne oder kupferne Nadel n a mit einem krummgebogenen Ende Platin, bestimmt in das Quecksilber der Rinne zu tauchen, und einem kleinen Gegengewichte n, um das längere Ende zu balanciren [1]. Die Lage des magnetischen Poles und die Richtung des elektrischen Stromes sind an sich klar. Befindet sich unter dem Apparate der Südpol eines starken Magnetes, oder wirkt bloſs der, wiewohl ungleich schwächere, tellurische Magnetismus [2], welchem wir auf unserer Halbkugel südliche Polarität beilegen müssen, so erfolgt die Drehung durch N. nach O. S. W., wenn die + El. von N. her eintritt, und vom Quecksilber bei r im Drahte a aufwärts strömt. Denkt man nämlich nach dem Normalversuche den Draht a bei der angegebenen Strömung horizontal gehalten, so wird der Nordpol unter ihm eine östliche, mithin der Südpol eine westliche Richtung erhalten, und diesem nach muſs im letzteren Falle der Draht selbst durch O. und S. nach W. und N. herumlaufen.

8. Für das Umlaufen des galvanischen Leiters *um* einen magnetischen Pol hat Schweigger [3] gleichfalls einen sinnreich ausgedachten Apparat angegeben, an welchem noch obendrein die entgegengesetzte Wirkung der ungleichnamigen Pole gleichzeitig beobachtet werden kann. A B ist ein etwas starkes Brett Fig. 89. von hartem Holze, an dessen beiden Seiten die kreisförmigen Rinnen g h; g' h' eingeschnitten sind, um das Quecksilber aufzunehmen. Im Centro dieser Rinnen sind von unten herauf die beiden Pole eines Hufeisenmagnetes N, S hinaufgeschoben, so daſs sie nur etwa eine Linie über die Fläche des Brettes hervorragen, wodurch die im Kreise der Elektricität befindlichen Nadeln zum Umlaufen um dieselben sollicitirt werden. Es tritt nämlich der elektrische Strom durch den Draht + E, welcher von unten herauf durch das Brett gesteckt ist, bei e in das Quecksilber der ersten Rinne, wird von diesem dem Ende a

1 Um durchweg die Verbindung vermittelst Quecksilbers zu erhalten, kann man noch bequemer der Nadel bei v eine feine verticale Stahlspitze, und dem oberen Ende des Drahtes t ein kleines Schälchen mit einem Tropfen Quecksilber geben.

2 Von diesen Erscheinungen wird erst im folgenden Abschnitte besonders geredet werden, indeſs anticipire ich diese kurze Andeutung bei dieser Gelegenheit.

3 Ebend.

des beweglichen Drahtes mitgetheilt, läuft von hieraus durch die Spitze n, welche das Ende eines rechtwinklich gebogenen Kupferdrahtes bildet, dessen Richtung durch das Holz zwischen dem Magnete und dem Quecksilber in der Rinne nach f, f' bis + E, wo er in das Quecksilber der zweiten Rinne durch Umbiegung von unten aufwärts tritt, aus der Zeichnung ersichtlich ist. In der zweiten Rinne ist der Gang des elektrischen Stromes dem ersteren ganz gleich, bis der Draht — E zum zweiten Elektromotor geführt wird. Die leicht balancirten umkreisenden Nadeln sind genau so gemacht, wie die oben beschriebene, und die Richtung beider ist durch die Buchstaben in der Zeichnung angedeutet[1].

9. Dafs der *magnetische Pol* wiederum den *galvanischen Leiter umkreisen müsse*, ist genugsam erwiesen, und es sind die wesentlichsten hierhin gehörigen Erscheinungen oben (III. A.) erwähnt. Indefs wollte Faraday eine, der eben beschriebenen völlig analoge, Umkreisung hervorbringen, welches ihm auch gelang, und wegen des innigen Zusammenhanges beider Erscheinungen habe ich daher die Beschreibung dieser letzteren bis hierher verschoben. Faraday[2] leitete zu diesem Ende den Verbindungsdraht der Elektromotoren durch ein Gefäfs mit Quecksilber, in welchem er einen Magnetstab vermittelst einer gehörigen Menge um seinen einen Pol umgewickelten Platindrahtes so schwimmen machte, dafs blofs der andere Pol oben hervor-

1 Diese Apparate sind in einigen Stücken demjenigen nachgebildet, welchen Pohl bei G. LXXIV. 395 angegeben hat, um das Umlaufen eines beweglichen galvanischen Leiters um einen oberhalb oder unterhalb befindlichen magnetischen Pol, oder durch den Einfluss des tellurischen Magnetismus zu zeigen. Ist nämlich die in No. 7 angegebene Nadel leicht genug balancirt, so wird sie auch durch den unter ihr befindlichen tellurischen Südpol in umkreisende Bewegung versetzt werden. Pohl giebt hierbei die nützliche Regel, das Quecksilber möglichst rein und trocken anzuwenden, und ohne verdünnte Säure, welche leicht etwas Oxyd erzeugt, auch bei der Anwendung von blofs kupfernen Nadeln ohne Platinspitzen die Enden mit salpetersaurem Quecksilber etwas zu amalgamiren, dann aber das Quecksilber durch sie blofs berühren zu lassen, und sie zu diesem Ende mit Siegellackfirnifs zu überziehen, damit sie, aufser der unteren amalgamirten Fläche nicht weiter amalgamirt und dadurch tiefer in das Quecksilber gezogen werden. Vergl. G. LXXV. 272.

2 G. LXXI. 139.

ragte, welcher dann um den Verbindungsdraht im Kreise umlief. Newmann[1] verbindet die beiden durch Faraday aufgefundenen Rotationen mit einander auf eine aus der Zeichnung leicht ersichtliche Weise. Die isolirende Säule A B trägt nämlich einen stärkeren Kupferdraht c d e, von welchem ein dünnerer in das mit Quecksilber gefüllte Gefäfs M herabgeht, und durch den hierin vermittelst Platin's schwimmenden Magnet p umkreiset wird. Der elektrische Strom nimmt dann seine Richtung durch die Fortsetzung dieses Drahtes von K aus durch den Draht m und den dickeren c d e, dann durch den in einem Oehre leicht aufgehangenen Platindraht n, welcher um den Magnetpol p′ umkreiset, während er dem Quecksilber im Gefäfse N. die Elektricität zuführt, die durch den Draht Z dem zweiten elektromotorischen Elemente wieder zuströmt[2]. Fig. 90.

10. Dafs sich diese Erscheinungen noch auf mannigfache Weise abändern und vervielfältigen lassen, versteht sich von selbst. Wollte man z. B. statt eines stählernen Magnetes einen elektromagnetischen aus schraubenförmigen Drahtwindungen bestehenden anwenden, so würde der Erfolg der nämliche seyn[3]. Statt eines Gefäfses mit Quecksilber kann auch eins mit Wasser genommen werden, auf welchem der Magnet vermittelst eines Korkes schwimmend erhalten wird. Man kann ferner zwei Verbindungsdrähte der Elektromotoren mit gleichen oder entgegengesetzten elektrischen Strömungen, und eben so zwei Magnete mit gleichen oder entgegengesetzten Polen anwenden, wie denn auch vielfache Abänderungen der beschriebenen Erscheinungen von Faraday versucht sind; allein die hierzu erforderlichen complicirten Apparate, und die dadurch erhaltenen verwickelten Resultate dienen keineswegs dazu, die Sache mehr aufzuklären, vielmehr können sie leicht Verwirrung herbeiführen, und ich übergehe sie daher um so mehr, als mir nach sorgfältiger Prüfung kein genauer Versuch vorgekommen ist,

1 G. LXXII. 113.

2 Ampère hat diese verschiedenen Drehungen in einem sinnreich construirten Apparate vereinigt, welcher unten No. 12 beschrieben ist. Seinen älteren Drehungsapparat hat James Marsh verbessert, S. Tilloch's Phil. Mag. 1822 Juin, daraus in Bibl. univ. XX. 258. Indefs übergehe ich diesen der Kürze wegen.

3 Faraday bei G. LXXI. 142.

welcher sich nicht mit dem aufgestellten Hauptgesetze vereinigen liefse.

11. Ein Umstand ist indefs allerdings von der Art, dafs er noch eine besondere Erwähnung verdient. C. H. Pfaff erzählt nämlich [1], dafs er zur Widerlegung der Faraday'schen Behauptung der aus dem galvanischen Schliefsungsdrahte hervorgehenden anziehenden und abstofsenden Kräfte eine Vorrichtung hergestellt habe, bei welcher ein Magnet um einen lothrechten Schliefsungsdraht umherkreisete, und dieser sich zu gleicher Zeit in entgegengesetzter Richtung um seine Axe drehete, ohne dafs hierdurch weder die Geschwindigkeit noch auch die Richtung des magnetischen Poles irgend eine Aenderung erlitt. Letzterer Erfolg ist aber nothwendig und im Wesen der Sache gegründet, ohne dafs sich daraus etwas für oder wider eine der aufgestellten Theorieen folgern läfst. Die elektromagnetische Wirkung eines Schliefsungsdrahtes hängt nämlich durchaus nicht von seiner Form und auch nicht von denjenigen Theilen ab, welche nach der einen oder der andern Seite gerichtet sind, sondern blofs von der Leitung, welche er der durchströmenden Elektricität darbietet, und es ist nicht sowohl der Draht selbst, als vielmehr der Strom der Elektricität in ihm, welcher den Magnetismus in ihm hervorruft, gegen welchen er selbst ganz indifferent ist, aufser sofern er der an ihn gebundenen Elektricität zum Vehikel dient, und seinerseits wieder den Magnetismus gebunden hält. So wie es daher rücksichtlich der elektromagnetischen Wirkung eines bestimmten Theiles des Leitungsdrahtes ganz gleichgültig ist, ob der Draht vor oder hinter diesem Theile auf die mannichfachste Weise gewunden und gerichtet wird, (oben III. A. 1.) eben so ist es auch ganz gleichgültig, ob derselbe bei unveränderter Richtung des elektrischen Stromes um seine eigene Axe gedreht wird oder nicht.

12. Uebrigens liegt es in der Natur der Sache, dafs der elektromagnetische Leitungsdraht durch den Pol eines Magnetes sollicitirt werden mufs, um seine Axe zu rotiren. Hat nämlich, abgesehen von jeder Theorie, und das bekannte *elektromagnetische Hauptphänomen* in seiner ganzen Einfachheit genommen,
Fig. 91. der Leitungsdraht A die von seinem Centro γ ausgehende Kraft [2],

1 Der Elektromagnetismus S. 166.

2 Ueber dieses Vorhandenseyn der elektrischen Strömung, und

einem magnetischen Pole a eine Bewegung mitzutheilen, wodurch er in die Lage a′ kommt, so muſs dieser hinwiederum jenen durch den Winkel *aya′* um seine Axe zu drehen streben. Faraday[1] war der erste, welcher diesen Satz aus der ihm gelungenen Umkreisung eines Leitungsdrahtes um einen Magnetpol folgerte, ohne daſs es ihm gleich anfangs gelang, die Aufgabe durch einen Versuch zu lösen. Später hat er zwar auch dieses erreicht, allein es war abermals der unermüdete Ampère[2], welcher diese Andeutungen weiter verfolgte, und das gesuchte Phänomen durch einen sinnreich construirten Apparat darstellte, vermittelst dessen sich mit geringen Abänderungen die verschiedenen Rotationen hervorbringen lassen[3].

Der ganze Apparat besteht aus einem dreifüſsigen Tische, Fig. 92. auf welchem das gläserne Gefäſs XY mit seinem Fuſse M feststeht. Einander diametral gegenüber ist an der einen Seite der kupferne Stab EF befestigt, an dessen unterem Ende das Schälchen mit Quecksilber O festsitzt, am oberen F aber der auf- und abwärts verschiebbare horizontale metallene Stab FG, mit einem kupfernen Ringe GIH, welcher etwas enger ist als die Oeffnung des Glases, und sich von oben herab so in dieses herabsenken läſst, daſs er das Quecksilber berührt, wie die Figur zeigt; an der andern Seite dagegen ist der runde Kork U durch eine Oeffnung im Tische gesteckt, und dient als Halter des Metalldrahtes AB mit einem Quecksilberschälchen O′ an seinem unteren Ende, oben bei B horizontal, bei D lothrecht herabwärts gebogen, so daſs seine Spitze Z sich in der Axe des Glasgefäſses in das Quecksilber tauchen läſst. Im Quecksilber endlich schwimmt lothrecht der Magnetstahl NS mit seinem hervorragenden Pole N und unten mit einem eingeschobenen Platingewichte P. Wird dann der elektrische Strom vom Gefäſse O durch den kupfernen Ring zum Quecksilber im Glase XY, und von hier durch ZDBA zum Gefäſse O′ geleitet oder umgekehrt, so wird der Magnet um den lothrechten Draht ZD nach der Richtung des elektrischen Stromes sich nach der einen

---

des dadurch erregten Magnetismus im Innern des Drahtes vergleiche unten IV.

1 G. LXXI. 139.

2 G. LXXII. 268.

3 Vergl. oben No. 9 u. 10.

oder der entgegengesetzten Seite umherbewegen. Die Ursache hiervon liegt in diesem lothrechten Ende des Leiters, und der kupferne Ring dient bloſs dazu, den Magnetpol allerseits durch den Leiter der Volta'schen Elektricität zu umgeben, und nicht zwischen zwei Leiter zu bringen, indem die Wirkung auch dann erfolgt, wenn die Leitung unten durch das Quecksilber geht, wie Newmann's Apparat (oben No. 9) beweiset[1].

13. Eben diesen, nur wenig abgeänderten Apparat benutzt Ampère[2], um die Drehung eines beweglichen Leiters um seine eigene Axe hervorzubringen. Zu diesem Ende wird auf die
Fig. 92. kupferne Säule E F eine Glassäule gekittet, welche den kupfernen Arm LK mit der Hülse K trägt. Durch diese wird ein Magnet cc' senkrecht herabgelassen, und mit der Schraube V
Fig. 93. festgeklemmt. An dem unteren Ende c' des Magnetes ist eine stählerne Spitze eingeschroben, nachdem zuvor in die Vertiefung der Schraube etwas Quecksilber gegossen und dann die Spitze so eingeschroben ist, daſs das Quecksilber zu vollständigerer metallischer Verbindung sich zwischen die Schraubenwindungen setzt. Der Draht ABD wird dann so weit heraufgezogen, daſs seine Spitze Z in eine mit Quecksilber gefüllte Vertiefung im andern Ende des Magnetes herabgeht. In dem Quecksilber des Gefäſses schwimmt ein Kupferdraht NN, an dessen unterem Ende sich ein Stück Platin befindet, um ihn in lothrechter Richtung zu erhalten, am oberen aber das mit Quecksilber gefüllte Schälchen UV, in welches die stählerne Spitze des in den Magnet geschrobenen Stückes herabgeht, und somit also den Kreislauf der Elektricität vom Gefäſse O' zum Gefäſse O herstellt, wodurch der Kupferdraht vermöge des Einflusses des Magnetes in eine Drehung um seine Axe versetzt wird.

Um auch dieses Phänomen mit allen übrigen unter das all-

1 Die Erklärung, welche Ampère und seine Anhänger, namentlich Demonferrand in Handbuch der dynamischen Elektr. §. 77 von dieser Erscheinung geben, lasse ich weg, weil sie nicht durch die Beobachtung gegeben ist, sondern aus seiner Theorie folgt. Man findet sie auch bei Gilbert a. a. O. Es scheint mir weit zweckmäſsiger, alle Phänomene vorläufig auf ein eben so einfaches als unbestreitbares Hauptphänomen, was der berühmte Erfinder dieses Gegenstandes zuerst entdeckte, zurückzuführen.

2 a. a. O. S. 173.

gemeine Gesetz zu bringen, darf man sich nur vorstellen, daſs die den magnetischen Pol a nach a′ treibende Kraft sich bis α′ erstrecke, der bewegte Magnetpol aber nach γ zu bis hinter α′ und zuletzt bis in γ selbst gerückt werde, wonach dann die Drehung des Kreises A nothwendig erfolgen muss. Indeſs ist hierbei die Hebelkraft geringe, und daher die Drehung auch nicht bloſs langsam, sondern so schwach, daſs man durch einige Erschütterung den bewegenden Kräften zu Hülfe kommen muſs. Es wird aber die Drehung schneller und läſst sich durch kleinere Elektromotore erhalten, wenn statt eines massiven Stabes NN eine kupferne Röhre genommen wird, welche dann zur Erhaltung einer lothrechten Lage nur eines geringeren Platingewichtes bedarf. Bei einer solchen hohlen Röhre ist allerdings die zu bewegende Masse geringer, und würde sonach auch nur einer geringeren Kraft zur Erzeugung einer Bewegung bedürfen. Allein da das Gewicht in dem vorliegenden Falle statisch im Quecksilber getragen wird, mithin rücksichtlich der Masse nur anfangs die Trägheit zu überwinden ist, die Adhäsion der Röhre an das Quecksilber aber wegen gröſserer Oberfläche gröſser ist als bei einem massiven Stabe, so scheint die Winkelkraft aγa′ bei der Röhre gröſser zu seyn, weil die elektromagnetischen wirksamen Puncte αα′ (wenn man sich anders dieses Ausdrucks bedienen will) in ihr weiter vom Centro γ entfernt liegen, oder in dem Metalle der Röhre einen stärkeren Widerhalt haben, als im massiven Stabe. Fig. 91.

14. Einen sinnreich construirten Apparat hat Barlow[1] erfunden, und man muſs gestehen, daſs bei demselben die Wirkung des Magnetes auf den Leiter der galvanischen Elektricität beim ersten Anblicke etwas paradox scheint. Barlow fand nämlich, daſs der Draht im Faraday'schen Rotationsapparate (oben No. 6.) durch einen genäherten Hufeisenmagnet aus dem Quecksilber gezogen wurde, und alsobald in dasselbe zurückfiel, weswegen er glaubte, man könne auf diese Weise eine dauernde Bewegung hervorbringen. Die hierzu gewählte Vorrichtung ist folgende. AB ist ein vierkantiges Brett von hartem Holze, worauf die zweimal gebogene kupferne Stange CDE ruhet. An dieser befindet sich der dünnere Kupferdraht abcd angelöthet, welcher unten durchschnitten, und mit feinen Pfannen versehen Fig. 94.

1 Bibl. univ. XX. 127.

Fig. 95. ist, damit das kupferne Rad V W mit den sehr feinen stählernen Spitzen seiner Axe $a a'$ hineingesenkt, sich sehr leicht bewegen kann. In der Mitte hat das Brett eine Vertiefung f g mit einer etwas hervorlaufenden Rinne i, worin Quecksilber ausgegossen und zum Ueberfluſs mit einer Lage sehr verdünnter Salpetersäure bedeckt ist. Endlich wird ein starker Hufeisenmagnet H M in die Lage gelegt, welche die Zeichnung angiebt. Setzt man den Kupferdraht C D E mit dem einen Pole eines stark wirkenden Volta'schen Apparates in Verbindung, den andern mit dem Quecksilber in der Rinne i, so fängt das Rad an um seine Axe zu laufen, und zwar mit einer solchen Geschwindigkeit, daſs das Auge nicht folgen konnte. Um indeſs dem elektrischen Strome eine hinlänglich gute Leitung darzubieten, müssen die Zapfenlager, die Zapfen selbst und auch die Zähne des Rades amalgamirt seyn[1]. Barlow bediente sich bei seinen Versuchen eines Hare'schen Calorimotors aus 20 Kupfer- und Zink-Platten, jede von 10 Z. Seite; doch soll auch ein schwächerer Apparat die Wirkung hervorbringen. Werden die Pole der elektrischen Leiter oder die des Magnetes umgekehrt, so wird die Drehung des Rades die entgegengesetzte.

Will man diese Erscheinung auf das anfangs aufgestellte allgemeine Gesetz zurückbringen, *daſs der magnetische Pol um den Verbindungsdraht zweier Elektromotoren herumläuft*, so darf man nur auf den No. 5 beschriebenen Versuch zurückgehen,
Fig. 86. wonach das Ende des Drahtes a b unter den gegebenen Bedingungen durch den Nordpol des Magnetes herabgezogen wird, wenn dieser sich an der Auſsenseite desselben befindet, an der innern würde er ihn aber in die Höhe heben, und dort wird ihn also der Südpol gleichfalls herabziehen. Werden also die beiden freundschaftlichen Pole eines Magnetes dem Drahte an den entgegengesetzten Seiten genähert, so muſs derselbe mit verdoppelter Kraft *herabgezogen* oder in die *Höhe gehoben* werden. Denkt man sich also, daſs jeder Zahn des Rades vor seiner Berührung mit dem Quecksilber das Ende eines solchen Drahtes bilde, so muſs die Drehung hiernach nothwendig erfolgen, und wenn das ganze Rad im elektrischen Strome liegt, so geht dieser auch durch jeden einzelnen Zahn desselben, welcher sonach füglich als ein Theil eines galvanischen Verbin-

1 Wie dieses Amalgamiren geschieht, ist oben II. a. E. gezeigt.

dungsdrahtes angesehen werden kann. Es läſst sich nach dieser Ansicht auch leicht die *Richtung* finden, nach welcher das Rad unter gegebenen Bedingungen umlaufen wird.

15. Hiernach bedarf eine Beobachtung HARE's keine weitere Erklärung. Dieser fand nämlich, daſs ein feiner Strahl Quecksilber, welcher aus einem, mit dem einen Pole seines sehr wirksamen Calorimotors in Verbindung gesetzten, Gefäſse auf den einen Fuſs eines starken Magnetes herabfloſs, dessen anderer Fuſs mit dem andern Pole des Elektromotors verbunden war, je nach der Richtung des elektrischen Stromes und der Wahl der magnetischen Pole einwärts oder auswärts gekrümmt wurde[1].

16. Unter die bisher betrachtete Classe von Erscheinungen gehören auch die sehr interessanten von DAVY aufgefundenen mindestens zum Theil, obgleich sie sammt ähnlichen Beobachtungen von ERMAN[2] und HERSCHEL[3] der Hauptsache nach den durch bloſsen Galvanismus hervorgerufenen Bewegungen der Flüssigkeiten beigezählt werden müssen. H. DAVY[4] senkte nämlich zwei Enden Kupferdraht $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{12}$ Z. tief lothrecht in ein Gefäſs mit Quecksilber, brachte sie in Verbindung mit einem mächtigen Volta'schen Apparate von 200 Quad. F. Metallfläche, und fand beim Halten eines starken Magnetes über oder unter den Drähten, noch mehr aber, wenn er die freundschaftlichen Pole von zwei Magneten einen *über*, den andern *unter* die Drahtenden hielt, eine starke Rotation des Quecksilbers um diese Drähte. Darauf steckte er zwei Kupferdrähte, welche an ihren Enden polirt und übrigens mit Siegellack überzogen waren, von unten durch den Boden eines gläsernen Gefäſses, goſs in letzteres Quecksilber, so daſs es $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{12}$ Z. über die Drahtenden überstand, verband sie dann mit den Polen der Säule und fand eine Strömung des Quecksilbers zwischen ihnen in der Art, daſs das Quecksilber sich in Gestalt kleiner Kegel bis eine Linie hoch erhob. Näherte er diesen Kegeln einen Magnet, so wurden sie der gröſseren Annäherung proportional niedergedrückt, und verwandelten sich in Wellen, welche das

---

1 Ann. of Phil. N. XLVI. 317.

2 G. XXXII. 261.

3 Phil. Trans. 1824. I. 162. Vergl. Edinb. Journ. of Science, IV, 193. Ann. Ch. et Ph. XXVIII. 280.

4 Phil. Tr. 1823. II. 153.

Ende der Drähte concentrisch umgaben, aufgestreueten Körperchen aber keine fortgehende Bewegung mittheilten, indem diese letzteren vielmehr ohne Veränderung ihres Ortes gehoben wurden und niedersanken, wie eine ähnliche Wirkung auch bei den Meereswellen statt findet.

Es lassen sich diese Strömungen auch mit kleineren Apparaten erhalten, wenn man die beiden Drähte N, P einer Volta'-
Fig. 96. schen Säule in das Gefäfs XY mit Quecksilber senkt, und den Magnet AB oder ein Bündel Magnete mit ihren gleichen Polen von oben herab über der Fläche des Quecksilbers zwischen beiden Drähten hält. So wie aber ein *beweglicher* Magnet zum Umkreisen gebracht werden kann, so mufs auch hier eine Umkreisung um den *festgehaltenen* entstehen, welche stärker ist, weil man einen starken Magnet anwenden darf. Um dieselbe leichter wahrnehmbar zu machen, wird etwas gesäuertes Wasser auf das Quecksilber gegossen, damit durch die Gasentwickelung kleine Bläschen entstehen, deren Bewegung die Richtung der Ströme angiebt. Wenn man beide Drähte so nahe an einander in das Quecksilber eintaucht, dafs ein Magnet auf beide zugleich zu wirken vermag, z. B. in einem Abstande von 1 bis 2 Zollen, so werden die Blasen, welche ohngefähr an der Mitte der, beide Eintauchungspuncte verbindenden, Linie befindlich sind, nach einer auf diese Linie senkrechten Richtung fortgetrieben, aus welcher sich dann die Richtung der Ströme beurtheilen läfst. Dafs diese sich ändert, wenn man die Pole des Magnetes oder die Schliefsung des galvanischen Kreises umkehrt, oder auch den nämlichen Pol zuerst von oben dann von unten dem Quecksilber nähert, liegt in der Natur der Sache[1]. Die Erscheinung selbst läfst sich auf den Fundamentalversuch Oersted's einfach zurückführen, wenn man annimmt, dafs die Leitungsdrähte ihren eigenthümlichen Magnetismus eben so dem Quecksilber mittheilen, als er in ihrer Umgebung vorhanden auf die Magnetnadel wirkt, und dafs dann der genäherte Magnet im Quecksilber die beobachtete Bewegung verursacht.

17. Hieran reihet sich ein höchst interessanter Versuch, welcher leider nur wenigen zugänglich ist. H. Davy liefs durch Pepys die grofse Volta'sche Batterie des Royal Institution aus 2000 Doppelplatten Zink und Kupfer in Thätigkeit setzen, wo-

1 Demonferraud a. a. O. S. 162.

ei eine Mischung aus 1168 Th. Wasser mit 108 Th. Salpetersäure und 25 Th. Schwefelsäure angewandt wurde. Die beiden Schliefsungsdrähte waren mit Kohlenstreifen versehen, und zwischen diesen entstand ein Flammenbogen oder eine Säule elektrischen Lichtes, welche in Gemäfsheit der weniger oder mehr verdünnten Luft, worin sie hervorgebracht wurde, eine Länge von 1 bis 4 Z. hatte. Wurde diesem Bogen oder dieser Säule ein mächtiger Magnet unter einem sehr spitzen Winkel mit seinem einen Pole gegenüber gehalten, so wurde sie von demselben mit einer rotirenden Bewegung angezogen oder abgestofsen, oder nach der verschiedenen Lage der Pole zum Umkreisen gebracht, und zwar, wenn die negative Seite der Batterie rechter Hand stand, bewirkte der Nordpol Abstofsung, der Südpol Anziehung. Der Magnet wirkte auf die elektrische Flammensäule leichter, und ihre Bewegung war schneller, wenn sie durch dichtere Luft ging, als durch verdünnte[1].

18. Vor allen Dingen verdient hier noch ein Versuch von Pohl erwähnt zu werden[2], welcher um so wichtiger ist, als durch diesen allein die so vielfach bestrittene Frage über polare Linien im Umfange des galvanischen Leiters ihrer Beantwortung etwas näher gerückt zu werden scheint. Pohl verfertigte einen sehr leichten cylindrischen Reif von leichtem Kartenpapier 2 Z. im Durchmesser und 1 bis 1,5 Z. Höhe haltend, schlofs ihn oben mit einem sehr dünnen Glimmerblättchen, und überzog das Ganze auf beiden Seiten mit Stanniol, welcher durch die punctirte Linie angedeutet ist. Eine Stahlspitze unten machte ihn in dem Quecksilberschälchen a drehbar, und das Quecksilber im oberen Behälter b stellte die Verbindung zwischen den beiden Polen der Elektromotore her, so dafs dieselbe von oben her durch den ganzen Umfang des Cylinders ging. Eine diesem letzteren genäherte Magnetnadel zeigte zwar überall eine gleiche Abweichung, wurde aber der Pol eines starken Magnetes genähert, so zeigten sich in einem Abstande von etwa $\frac{1}{4}$ des Umfanges entgegengesetzte polare Linien, welche Pohl von partieller Leitung ableitet, indefs verdient der Versuch allerdings mit vorzüglich starken Apparaten wiederholt zu werden, indem

Fig. 97.

1 Phil. Trans. 1821. II. G. LXXI. 244.
2 G. LXXIII. 252.

auf diesem Wege vielleicht die Theorie des Elektromagnetismus zur Begründung kommen könnte.

19. Schliefslich mufs, in Beziehung auf die in diesem Abschnitte untersuchten Erscheinungen noch bemerkt werden, dafs die Einwirkung des stärksten, dem Leitungsdrahte genäherten, Magnetes den Magnetismus desselben weder erhöhen, noch schwächen, noch auch umkehren kann, wie solches bei einem natürlichen oder künstlichen Magnete der Fall ist. Schon Erman[1] bemerkte dieses bei seinen frühesten Versuchen, und die Ursache hiervon liegt ohne Zweifel darin, dafs der Stahl für den Magnetismus in gewissem Sinne ein Nichtleiter ist, und die in ihm einmal bewirkte Trennung beider Magnetismen durch äufsere Einwirkung afficirt werden kann. Der elektrische Leitungsdraht dagegen ist ein Leiter des Magnetismus, die Hervorrufung desselben geschieht in jedem Augenblicke aufs Neue durch den elektrischen Strom, welcher, als hierbei wirkende Ursache, durch den Magnet nicht selbst afficirt wird, folglich auch in seiner Wirkung dadurch nicht gestört werden kann. Diesem analog ist Poggendorf's Beobachtung, dafs ein Magnet, welcher einen Theil des elektrischen Leiters bildet, hierbei blofs als Metall wirksam ist, ohne Einflufs seiner Polarität.

D. Wirkung des tellurischen Magnetismus auf die elektrischen Leiter.

Es ist oben (unter C im Anf.) schon bemerkt, dafs ein jeder Leiter des elektrischen Stromes, welcher durch einen Magnet in Bewegung gesetzt wird, auch dem Einflusse des tellurischen Magnetismus folgen mufs, wenn er anders hinlänglich beweglich ist, um durch diese geringe Kraft bewegt zu werden. Dafs aber die Kraft des tellurischen Magnetismus sehr geringe sey in Vergleichung mit derjenigen, welche natürliche oder künstliche Magnete besitzen, davon überzeugt man sich bald, wenn man berücksichtigt, wie leicht die durch den tellurischen Magnetismus in ihrer Lage erhaltenen Magnetnadeln durch einen nur schwachen Magnet abgelenkt werden. Diesem nach können nur wenige der beschriebenen Apparate dazu dienen, elektromagnetische Magnetnadeln abzugeben; indefs hat man eine genügende Menge solcher Vorrichtungen construirt, welche deut-

1 Umrisse u. s. w. S. 22.

lich zeigen, dafs auch der elektrische Leitungsdraht sich in dieser Hinsicht als eigentlichen Magnet zeigt.

1. Die oben (III. A. 11.) beschriebene Spiralscheibe erhält im Kreise der galvanischen Elektricität bei nicht zu schwachen Elektromotoren eine solche magnetische Intensität in ihrem Centro, dafs sie die Pole starker Magnetnadeln ablenkt und festhält. Ist sie daher an den Enden des Drahtes, woraus sie gewunden wurde, durch Einsenken derselben in Quecksilber in den elektrischen Strom gebracht, und entweder auf feinen Spitzen dieser Enden oder an einem ungezwirnten Seidenfaden hinlänglich beweglich balancirt, so wird sie sich mit ihrer Nord- und Südseite nach diesen beiden Weltgegenden einrichten, folglich mit ihrer Fläche den magnetischen Meridian normal durchschneiden.

2. Auch der oben (III. C. 1.) beschriebene Ermansche Rotationsapparat zeigt zum Mindesten einiges Bestreben, sich nach seiner Polarität in den magnetischen Meridian zu richten, insbesondere wenn er unter einer Glasglocke befindlich gegen jeden Luftzug gesichert ist. Allein die Aeufserungen dieser Polarität sind nur schwach, und man mufs, um die Wirkungen mit Sicherheit zu erhalten, zu den spiralförmigen oder noch besser zu den schraubenförmigen Windungen des Leitungsdrahtes seine Zuflucht nehmen. Aus der (oben III. B. 11.) gegebenen Darstellung der Art, wie ein solcher gewundener Draht wirkt, ergiebt sich nämlich sehr auffallend, dafs beide Polaritäten durch die Zahl der Windungen an Stärke zunehmen müssen. Man wendet daher auch gegenwärtig nur solche Windungen an, wenn man sogenannte elektrische Magnete darstellen will.

3. Ampère, welcher durch seinen unermüdeten Eifer und die vielen von ihm ausgesonnenen Apparate die neue Entdekkung so ausnehmend gefördert hat, dafs er mit Recht der Begründer des Elektromagnetismus in dem Umfange, wie wir ihn jetzt kennen, genannt werden kann, war der erste, welcher einen aus schraubenförmig gewundenem Drahte nachgebildeten Magnet darstellte, und obgleich derselbe, wahrscheinlich wegen seines zu grofsen Gewichtes und der minder leicht beweglichen Balancirung sich durch den Einflufs des tellurischen Magnetismus nicht in den magnetischen Meridian richten wollte, so verdient doch dieser erste Apparat als das Muster aller späteren des geschichtlichen Interesses wegen aufbewahrt zu werden. Dafs diese Ursache die alleinige des Nichtgelingens dieses

Versuches war, geht sehr augenfällig daraus hervor, daſs Ampère einen bloſsen kreisförmigen, aber sehr leicht schwebenden Draht durch den Erdmagnetismus bewegt werden und sich polarisch richten sah[1]. Der eigentlich für diesen Zweck bestimmte, aber schon durch die gebrauchten Glasröhren zu schwere Ap-
Fig. 98. parat war auf folgende Weise construirt. Ein Messingdraht, dessen eine Spitze in das mit Quecksilber gefüllte Gefäſs N am Glasstabe ROP gesenkt war, ging in der Richtung KHF zweimal gebogen herab, wurde bei F in eine krummgebogene Glasröhre gesteckt, durch dieselbe geführt, bei B in schraubenförmigen Windungen um dieselbe geschlungen, ging zur zweiten Glasröhre C bis A in gleichen Windungen fort, war hier wieder durch die Glasröhre geführt bis D, von wo aus er sich bei G in das zweite Quecksilbergefäſs M senkte. Wurden dann die beiden Leiter der Elektricität von den entgegengesetzten Polen eines Elektromotors in die Quecksilbergefäſse getaucht, so muſste dieses Drahtgewinde einen bipolaren Magnet bilden[2]. Diesen nämlichen Apparat machte v. Althaus an einem Seidenfaden schweben, und erhielt den gewünschten Erfolg[3].

4. Wenn bei der groſsen Fülle elektromagnetischer Apparate die durch Neef[4] angegebenen schwimmenden Nadeln, und die durch de la Rive[5] diesen sinnreich nachgebildeten, gegenwärtig durch zweckmäſsigere Vorrichtungen verdrängten, übrigens aber nicht bloſs dem Magnete, sondern auch dem tellurischen Magnetismus gehorchenden elektromagnetischen Nadeln der Kürze wegen nur geschichtlich erwähnt werden dürfen, so gebührt dagegen Raschig's[6] mikroelektromagnetischem Compaſs für immer eine Stelle in vollständigen Sammlungen dieser Apparate. Dieser ist dem eben beschriebenen Ampère's nachgebildet, aber dem gewünschten Zwecke um so mehr angemessen, als er ganz nach Art einer wirklichen Magnetnadel durchaus freie Bewegung hat. Man nimmt zu demselben einen gewöhnlichen Federkiel, schabt ihn zum Ueberfluſs noch etwas

1 G. LXVII. 254.
2 G. LXVII. 238.
3 Versuche über den Elektromagnetismus. S. 18.
4 Schweigg. Journ. XXXI. 32.
5 G. LXIX. 81.
6 G. LXIX. 207. Vergl. LXVII. 431.

dünner, umwickelt ihn schraubenförmig mit feinem übersponnenen Kupferdrahte, und bindet diesen an beiden Enden mit Seide fest, führt das eine Ende desselben a d herabwärts, und löthet es bei h an eine kleine Zinkscheibe, das andere Ende b c aber bei i an einen etwas platt geklopften kupfernen oder silbernen Fingerhuth, oder einen diesem ähnlichen kleinen Becher e, welcher mittelst zweier Seidenfäden f g an dem Federkiele aufgehangen ist, bringt den Federkiel selbst an den zwei Fäden m, n in eine horizontale Lage, und hängt ihn frei und leicht beweglich an einem zum Tragen desselben hinreichend starken, übrigens möglichst feinen, Faden ungezwirnter Seide auf. Am besten versieht man ferner den Zinkstreifen mit einer über seine drei, im kupfernen Becherchen befindlichen, Kanten aufgetragenen mäſsig dicken Lage Siegellack, und befestigt ihn in der Mitte des Fingerhutes stehend vermittelst zweier hervorragender Knöpfchen Siegellack, so daſs er mitten zwischen den Seitenwänden des Kupfers aufrecht steht, ohne metallische Berührung mit demselben, und ohne die Communication der Flüssigkeit von seiner einen Fläche zur andern zu hindern. Wird dann der Becher mit der oben (II. B. 3.) erwähnten Solution von schwefelsaurem Zinke gefüllt, welche wegen ihrer hierfür hinlänglich dauernden Wirkung, und indem sie weder die Zinkplatte noch auch die Seide angreift, für diesen Zweck jeder andern Flüssigkeit vorzuziehen ist, so wird der Apparat nach einigen Schwankungen sich mit seinen Polen in den magnetischen Meridian einstellen, und die Eigenschaften einer gewöhnlichen Declinationsnadel zeigen. Fig. 99.

Statt des eigenen Bechers läſst sich der oben (III. C. 1.) beschriebene Erman'sche doppelte Cylinder für diesen Zweck einrichten. Zum Mindesten habe ich selbst den angegebenen, von feinem Silber möglichst dünn gearbeiteten, dazu gebraucht, ihn mit einer Federspuhle versehen, welche etwa 60 Mal vom Drahte umwunden ist, diese in ihrer Mitte auf ein seidenes Läppchen horizontal über den hohlen Cylinder von Zink zwischen die Fäden $\alpha\,\alpha$ gelegt, die Drahtenden in die Quecksilberbehälter s und l gesenkt, und das Ganze unter einer Glasglocke aufgehangen. Ein genäherter Magnet bringt ihn aus seiner magnetisch polaren Richtung, in welche er sich durch den Einfluſs des Erdmagnetismus stellt. Fig. 80.

5. Ampère suchte indeſs darzuthun, daſs der Einfluſs des

tellurischen Magnetismus auch einfache elektromagnetische Leitungsdrähte in Bewegung setzen müsse. Statt des anfänglich
Fig. hierzu vorgeschlagenen Apparates hat er später zwei sinnreich
100. ausgedachte angegeben[1]. Der kreisförmig gebogene Draht a b c, dessen Enden mit Seidenfäden zusammengebunden und mit den feinen Spitzen y, x vereinigt sind, werden mit diesen letzteren in die gleichmäfsig bezeichneten Quecksilberschälchen des allgemeinen Apparates (III. C. 3.) gesenkt. Nach geschlossener galvanischer Kette strömt die Elektricität durch den Draht in einer oder in der entgegengesetzten Richtung, macht dadurch seine eine Fläche nordpolarisch, die andere südpolarisch, und bewirkt hierdurch, dafs er nach einigen Schwankungen sich mit seiner Fläche auf den magnetischen Meridian normal gerichtet einstellt. Weil aber die Arme, welche den Quecksilberschälchen x, y zu Trägern dienen, seine freie Bewegung hindern, so
Fig. gab er ihm die folgende Einrichtung. Der kreisförmig gebo-
101. gene Draht hat unten eine runde Oeffnung a b, welche über den Träger des Quecksilberschälchens S am allgemeinen Apparate herabgesenkt werden kann, so dafs die feine Spitze s in dasselbe eintaucht. Am andern Ende des Drahtes befindet sich das kleine Quecksilberschälchen d, und in dieses ist der Draht e f gesenkt, dessen andere Spitze e vermittelst der kleinen Zwinge b′ im Quecksilberschälchen y′ des allgemeinen Apparates festgehalten, und sonach der frei schwebende gebogene Draht in den galvanischen Kreis gebracht wird, durch dessen veränderte Richtung derselbe sich nach einigen Schwankungen polarisch einstellt, oder auch durch schnellen Wechsel dieser Richtung zum anhaltenden Umkreisen gebracht werden kann.

6. Es versteht sich von selbst, dafs man statt eines kreisförmigen Drahtes auch einen rechtwinklich gebogenen wählen kann, und die Wirkung wird auch dann nicht ausbleiben, wohl aber um die Hälfte schwächer seyn, wenn der elektrische Strom
Fig. nur die eine Hälfte des Rectangels durchläuft. Ein solcher Draht,
102. dessen Spitze y′ in das gleichmäfsig bezeichnete Quecksilberschälchen gesenkt ist, so dafs der elektrische Strom durch a b c d e f bis s gelangt, welche letztere Spitze in das Quecksilberschälchen S getaucht die Fortsetzung des elektrischen Stromes zum zweiten Elektromotor gestattet, wird, durch das Ge-

1 Ann. Chim. Ph. XXVI. 405.

gengewicht p balancirt, sich gleichfalls mit seiner Fläche rechtwinklich auf den magnetischen Meridian einstellen, allein dieses geschieht nicht bloſs durch den aufsteigenden oder herabgehenden elektrischen Strom, wie DEMONFERRAND[1] angiebt, sondern eben so sehr durch den horizontalen, indem bloſs das Stück c d des Drahtes nichts zur Wirkung beiträgt. Wenn man den Draht bei s nicht in das Quecksilber senkt, sondern von hieran rückwärts neben dem ersten parallel laufend wieder zurückführt, und oben mit noch einer Spitze versieht, so daſs er sich in den beiden Schälchen x′, y′ frei drehen kann, so wird er ruhen, weil die alsdann einander parallelen entgegengesetzten Strömungen sich wechselseitig aufheben. Eben dieses muſs Fig. der Fall seyn, wenn der elektrische Strom zwei einander gegen- 103. überstehende Rectangel a b c d und $d \beta \gamma \delta$ durchläuft. Ist in- Fig. deſs ein solcher Apparat so eingerichtet, daſs der Abstand des 104. Leitungsdrahtes b c vom Mittelpuncte der Drehung gröſser, mithin seine Hebelkraft ungleich stärker ist als im Drahte a d, so wird die Richtung des ersteren nach Osten oder Westen allerdings erfolgen[2].

7. Der tellurische südpolare Magnetismus wirkt indeſs unmittelbar weder in *horizontaler* noch in *lothrechter* Richtung auf die beweglichen Leiter, wie dieses bei den bisher beschriebenen und den weiter folgenden Apparaten der Bequemlichkeit wegen angenommen ist, sondern in derjenigen Richtung, welche unter jedem Grade der Breite durch die Inclinationsnadel angegeben wird. Indem aber das Umlaufen einer Magnetnadelspitze um den elektrischen Leiter, und die diesem entgegengesetzte des letzteren um einen Magnetpol nur auf tangentielle Kräfte zurückgebracht werden kann, welcher Theorie man auch huldigen möge, so können nur diejenigen Kräfte den beweglichen Leiter in einer horizontalen und in einer verticalen Ebene sollicitiren, welche man durch die Zerlegung der in der Richtung der Inclinationsnadel wirkenden Kraft in ihre componirenden, auf die genannten Ebenen lothrecht gerichteten erhält.

1 Handbuch der dynamischen Elektricität. S. 87.

2 Der etwas zusammengesetztere Apparat, welchen POHL bei G. LXXIV. 401. angegeben hat, ist in so fern vorzüglicher, als an demselben entschieden bloſs die Wirkung lothrechter Drähte beobachtet werden kann.

Pohl hat das unverkennbare Verdienst um die elektromagnetischen Erscheinungen, diese Zerlegung der richtenden Kraft am vollständigsten und gründlichsten vorgenommen, auf gerade, krumme und beliebig gegen den Horizont geneigte bewegliche Leiter angewandt, und die theoretische Demonstration durch geeignete Versuche erläutert zu haben[1]. Unter den verschiedenen von ihm beobachteten Erscheinungen verdient insbesondere folgende hier eine Aufnahme.

Es folgt aus dem Gesagten nothwendig, dafs die bewegende Kraft des tellurischen Magnetismus auf einen geraden, in der Richtung der Inclinationsnadel gegen den Horizont geneigten galvanischen Leiter = 0 seyn mufs. Ist Letzterer aber um eine lothrechte Axe in einem Kreise auf eine solche Weise beweglich, dafs er mit derselben stets einen gleichen Winkel bildet, als welchen die Inclinationsnadel mit ihr macht, so wird die eine der componirenden Kräfte, worein die bewegende Kraft des tellurischen Magnetismus zerlegt werden kann, ihn zu sollicitiren anfangen, sobald er die der Inclinationsnadel parallele Lage verläfst, und wird ihr Maximum erreichen, wenn er sich dieser diametral gegenüber im Süden befindet. Das Verhältnifs dieser von 0 bis zu einer endlichen Gröfse wachsenden Kraft, welche den galvanischen Leiter im Azimuth umherbewegt, wird sich ändern, und mit einem endlichen Werthe anfangend mehr oder minder zunehmen, je nachdem der Winkel ist, welchen der bewegliche Leiter mit der Inclinationsnadel bildet, den anfänglichen Stand desselben im Norden angenommen, bis sie für 90 Grade verschwindet, in welchem Falle der bewegliche Leiter astatisch werden würde. Um einige der vorzüglichsten Erscheinungen, welche aus dieser theoretischen Betrachtung folgen, durch einen Versuch zu beweisen, befestigte Pohl auf ei-

1 G. LXXIV. 389. LXXV. 269. Die dort mitgetheilten Berechnungen und Versuche verdienen nach meiner Ansicht mehr Aufmerksamkeit, als sie bei denjenigen gefunden haben, welche sich noch später mit diesem Theile der Naturlehre beschäftigten, indem die geometrischen Demonstrationen alle elektromagnetischen Phänomene aus einem einfachen Principe bündig ableiten. Dafs ich sie in dieser Abhandlung nicht aufgenommen habe, geschah deswegen, weil ich bei dem ohnehin grofsen Umfange, um niemanden zu nahe zu treten, überhaupt keinen Calcül aufnehmen wollte. Vergl. unten Theorie IV. D. 5.

nem Brette AB eine kreisförmige Rinne $\alpha\beta$ mit Quecksilber, errichtete in der Mitte derselben den Träger ce, auf welchem bei e ein Achathütchen befestigt war. In diesem ruhete vermittelst einer feinen Stahlspitze der Kupferdraht hfg, dessen kürzeres Ende durch das bewegliche Gegengewicht h balancirt wurde, während die untere Fläche des längeren das Quecksilber in der Rinne berührte, welchem durch das kleine Quecksilberschälchen f und die aus der Zeichnung an sich klaren Leitungsdrähte der elektrische Strom so zugeführt wurde, dafs sich durch eine aus der Zeichnung ersichtliche zweckmäfsige Vorkehrung die Richtung leicht umkehren liefs. Der Winkel, welchen der Draht fg mit dem Horizonte macht, ist willkührlich, und läfst sich innerhalb gewisser Grenzen abändern, wenn man den Träger ce verkürzt oder verlängert[1]. In einem Versuche war derselbe 71°, und also die bewegende Kraft in Norden = 0, welches sich auch zeigte, wenn man ihn in dieser Lage anhielt. Bei der geringsten Entfernung von diesem genau nördlichen Stande fing er indefs an sich langsam durch O. oder W., je nachdem die Richtung des elektrischen Stromes war, zu bewegen, gelangte mit dem Maximo seiner Geschwindigkeit nach S. und wurde dann mit abnehmender Geschwindigkeit weiter getrieben, so dafs er in einem ganzen Kreise umzulaufen fortfuhr. Fig 105.

8. Indefs erscheint beim Versuche selbst ein einfacher gebogener Draht gegen den Einflufs des tellurischen Magnetismus unempfindlich, wenn sein Gewicht etwas gröfser, der galvanische Strom minder kräftig und die Reibung nebst dem Widerstande des Quecksilbers zu stark sind. Man nimmt daher auch hierbei seine Zuflucht zu den Spiralscheiben, deren zwei an das Ende einer beweglich aufgehangenen Glasröhre so befestigt sind, dafs ihre beiderseitigen Flächen entweder auf der Axe der Glasröhre lothrecht stehen, oder mit derselben in der *nämlichen* oder einer *parallelen* Ebene liegen. Die Art des Aufhängens dieser Apparate, um den galvanischen Strom durch sie zu leiten, ergiebt sich aus der Zeichnung, und die Richtung, welche sie dann nehmen werden, folgt aus dem oben (III. A. 11.) an- Fig. 106.

1 Die Vorrichtung, welche allerdings einen Theil der elektromagnetischen Apparate auszumachen verdient, läfst sich leicht so einrichten, dafs man sie mit dem allgemeinen Apparate von Ampère verbindet, wobei das Gefäfs S die Stelle von e vertreten kann.

gegebenen Magnetismus der Spiralscheiben. Dafs es übrigens besser sey, statt der in Frankreich üblichen Glasröhren zur Befestigung der Drähte und Spiralen von feinem übersponnenen Drahte einen Federkiel nach Raschig zu wählen, bedarf kaum einer Erwähnung[1]. Endlich kann man auch statt der Spiralscheiben an den Enden schraubenförmige willkührlich weite Windungen über die ganze Länge des Rohres wählen, oder wie van der Heyden gethan hat, weite schraubenförmige Windungen um einen Cylinder bilden, diese mit einer Lage Seidenzeug überkleben, den Draht durch den innern Raum des Cylinders wieder zurückführen, noch eine Lage Windungen bilden, diese abermals mit Seidenzeug überkleben, und auf solche Weise fortfahren, einen Multiplicator aus einer beliebigen Menge über einander liegender schraubenförmiger Windungen zu bilden. Wird dann an das eine Ende des Drahtes eine Scheibe Zink, an das andere eine Scheibe Kupfer gelöthet, und der Apparat vermittelst Kork über einem flüssigen unvollkommenen Leiter der Elektricität schwimmend oder an einem Seidenfaden darüber schwebend erhalten, so dafs die beiden Metallscheiben in die Flüssigkeit eingetaucht sind, so hat man einen beträchtlich starken elektrischen Magnet.

Die bisher beschriebenen Erscheinungen lassen sich sehr einfach auf den Fundamentalversuch zurückführen. Hieraus folgt nämlich, dafs die Pole der Declinationsnadel von der einen Seite des elektromagnetischen Drahtes angezogen, von der andern abgestofsen werden. Die spiralförmig gewundene Scheibe zeigt aber deutlich, dafs an der einen Seite derselben blofs nordpolarer, an der andern blofs südpolarer Magnetismus wirksam ist, und insofern ein kreisförmig gebogener oder auch ein rectangulärer Draht als ein einzelnes Element einer solchen angesehen werden kann, so geht hieraus nothwendig hervor, dafs alle diese mit ihrer nordpolaren Seite sich nach Norden, mit ihrer südpolaren nach Süden richten, oder ihre Ebenen lothrecht auf die magnetische Mittagslinie gerichtet, zum Stillstande kommen müssen.

Inzwischen sind die sämmtlichen genannten Apparate von der Art, dafs sie zunächst nur die Erscheinungen nachbilden, welche die Declinationsnadel als Folge des tellurischen Magne-

---

1 Vergl. Demonferrand Handbuch der dyn. El. §. 46.

tismus zeigt, vermöge dessen sie sich mit ihrer Axe in den magnetischen Meridian stellt. Der tellurische Magnetismus ist aber von der Art, dafs wir in der Richtung der Inclinationsnadel unten einen Südpol, oben einen Nordpol anzunehmen haben. Indem wir aber auf unserer nördlichen Halbkugel den Einfluſs des letzteren vernachlässigen können, so müssen die elektromagnetischen Leitungsdrähte durch den Erdmagnetismus so afficirt werden, als würde ihnen von unten ein südpolarer Magnet genähert.

9. Man kann dieses durch einen um eine horizontale Axe frei schwebenden Draht leicht anschaulich machen. Ist nämlich Fig. 107. der mit den Spitzen x, y' versehene Draht rechtwinklich so gebogen, dafs seine Seiten lothrecht herabhängen, das Stück a b aber horizontal schwebt, wenn die Spitzen in die gleichmäfsig bezeichneten Quecksilberschälchen des allgemeinen Apparates gesenkt sind, und besteht die eine Seite $\alpha\beta$ des Rectangels aus einem isolirenden Stäbchen, an welchem sich das Stück i befindet, dessen Gewicht das des Drahtes bis auf ein Minimum nach balancirt, so wird der letztere sich beim Durchströmen der galvanischen Elektricität durch den Einfluſs des Erdmagnetismus bewegen. Hierbei geht nämlich die Strömung in den beiden lothrechten Seiten α a und β b in entgegengesetzter Richtung, mithin heben sich ihre Wirkungen auf, und es bleibt also nur die der Seite a b übrig. Wie aber die Bewegung derselben seyn müsse, folgt von selbst, wenn man nur berücksichtigt, dafs der Nordpol *unter* dem Leitungsdrahte bei einer Strömung von Norden nach Süden östlich abweicht. Diesemnach ist die Ausweichung oder die dadurch bewirkte Erhebung des Drahtes über der nordpolaren Elektricität westlich, über der tellurischen aber östlich, bei einer Strömung von Süden nach Norden westlich, von Osten nach Westen südlich und von Westen nach Osten nördlich, oder, wie Demonferrand[1] sagt, sie ist allezeit links von der Richtung des elektrischen Stromes. Faraday[2] beobachtete diese Erscheinungen zuerst, sein Apparat war aber minder geeignet, die Sache auf eine leichte und sichere Weise anschaulich zu machen.

Es folgt hieraus von selbst, dafs die oben (III. C. 5.) be-

1 Handbuch der dynamischen Elektricität. §. 39.
2 G. LXXI. 171.

schriebenen Einwirkungen eines Magnetes auf einen in der verticalen Ebene beweglichen Leiter der galvanischen Elektricität durch den tellurischen Magnetismus nicht hervorgebracht werden können. In diesem Falle nämlich sind die obere und untere Fläche des beweglichen Leiters durch den Einfluſs des magnetischen Poles nicht beweglich, die beiden Seiten aber sind in ihrer Wirkung entgegengesetzt, und heben einander auf[1].

E. Wechselseitiger Einfluſs elektrischer Leiter auf einander.

Daſs die Leiter der Volta'schen Elektricität, insofern sie den Magnet afficiren und von diesem eben wie vom tellurischen Magnetismus afficirt werden, ja sogar eine gewisse Art von Magneten bilden, auch einen wechselseitigen Einfluſs auf einander ausüben müssen, lieſs sich allerdings wohl mit hoher Gewiſsheit aus theoretischen Gründen folgern; indeſs hat Ampère diesen Satz schon damals durch Versuche nachgewiesen, als die Lehre vom Elektromagnetismus noch in ihrer Kindheit war, und gerade diese Erscheinungen seitdem vorzugsweise verfolgt, weil er in ihnen eine Hauptstütze seiner Theorie zu finden glaubt. Indeſs lassen sich auch diese sehr einfach auf das ursprünglich von Oersted aufgefundene Hauptphänomen zurückbringen. Sind Fig. 108. nämlich a und α die Durchschnitte zweier Leiter der galvanischen Elektricität, welche bei gleicher Richtung des galvanischen Stromes parallel über einander hinlaufen, so wird der Nordpol über α und unter a die bezeichnete Abweichung erhalten, sie selbst aber würden durch die Einwirkung des nämlichen Poles nach den Richtungen ab und $\alpha\beta$ getrieben werden, welche einander entgegengesetzt sind. Nimmt man also die magnetischen Pole zwischen ihnen weg, und läſst sie selbst auf einander einwirken, so müssen sie bei gleichlaufender elektrischer Strömung einander anziehen, welches auch dadurch klar wird, wenn man sich vorstellt, daſs die entgegengesetzten Pole zwischen ihnen nach der nämlichen Seite hin getrieben werden. Es wird aber der magnetische Pol durch den Elektromagnetismus

1 Die sonstigen Bewegungen der elektrischen Leiter, durch den Einfluſs des tellurischen Magnetismus veranlaſst, lassen sich bequemer mit den Erscheinungen verbinden, welche den Inhalt des nächstfolgenden Abschnittes ausmachen.

ganz um den Leitungsdraht der galvanischen Elektricität herumgeführt. Folgt man diesem, führt den Draht *a* in einem Kreise um den Draht a, zeichnet die Richtung der gleichnamigen Pole zwischen ihnen, und folgert hieraus diejenige Bewegung, welche beide Drähte bei gleichlaufender elektrischer Strömung in einander erzeugen müssen, so erhält man alle hierdurch hervorgebrachte Bewegungen, aus denen die den entgegengesetzten Strömungen zugehörigen leicht abstrahirt werden können. Ampère[1] hat diese gesammten Erscheinungen durch sinnreich construirte Apparate anschaulich gemacht, von denen die meisten eine Aufnahme in die physikalischen Sammlungen verdienen, und daher hier nicht übergangen werden dürfen.

1. Für verschiedene dieser Versuche setzt man den Rectangel MNOP auf den oben (III. C. 3.) beschriebenen Hauptapparat[2] so, dafs die vier Zapfen L, L, L, L, in die mit gleichen Buchstaben bezeichneten Löcher gesteckt werden, und die beiden Spitzen G, H sich in das Quecksilber der gleichmäfsig bezeichneten Vertiefungen senken. Wird dann der rechtwinklich gebogene Draht mit seinen herabgehenden Spitzen x, y, in die gleichbezeichneten Quecksilberschälchen gesenkt, ist R der Leiter des positiven Poles und sind die kleinen Brücken K, k nach der rechten Hand herabgesenkt, so geht der Strom der Elektricität von A nach C, von da nach C′ und G, durchläuft den mit einem Multiplicator aus Streifen des dünnsten Kupferbleches versehenen Rectangel in der Richtung MN, kehrt in das Quecksilber der Vertiefung H zurück, wird durch DD′Bc zur Säule ET geleitet, gelangt in das Gefäfs X, von da nach x, von hier aus in den beweglichen Leiter, nimmt hierin die Richtung x a b c d e f g h i bis y, steigt durch die Säule UF herab, zeigt durch seinen Einflufs auf das Galvanometer tuv, dafs die galvanische Kette geschlossen sey, und gelangt endlich durch d′ in die Rinne a zum andern Volta'schen Elektromotor. Hierbei hat der elektrische Strom in dem Drahtende de die nämliche Richtung, als in MN, und beide werden sich daher anziehen. Will man Abstofsung derselben hervorbringen, so darf nur eine

Fig. 109.

Fig. 110.

1 Ann. Chim. Ph. XXVI. 396.

2 Die 83ste Figur, welche den allgemeinen Apparat beschreibt, mufs bei den meisten der folgenden Versuche ohne weitere Anzeige verglichen werden.

der Drahtbrücken K oder k nach der linken Seite hin niedergedrückt werden. Geschieht dieses bei beiden, so sind beide Strömungen, sowohl die in NM als auch in ed der vorigen entgegengesetzt, aber nach gleicher Richtung gehend, wodurch sich nachweisen läſst, daſs die Bewegung nicht durch den Einfluſs des tellurischen Magnetismus hervorgebracht wird. Dieses folgt indeſs auch schon daraus, weil der bewegliche Draht astatisch ist, indem der elektrische Strom gleiche Theile desselben in entgegengesetzter Richtung durchströmt. Ist derselbe in den Bechern x, y aufgehangen, so fällt der Punct e lothrecht über N, und die Winkelkraft ist daher geringer, als wenn man ihn in die Schälchen x′, y′ hängt, in welchem Falle er mitten über MN herabhängt.

Fig. 111. 2. Hängt man einen Draht, welcher in der Richtung xab cdefghiy gebogen ist, und in welchem also die elektrische Strömung in den Theilen cd und gh eine einander jederzeit entgegengesetzte Richtung hat, in den Schälchen x, y auf, so werden beide angezogen oder abgestoſsen. Im Fall der Anziehung ſindet kein bleibendes Gleichgewicht statt, weil es kaum vermeidlich ist, daſs nicht einer dieser Drähte dem Rectangel etwas näher kommen sollte, wodurch dann Anziehung bewirkt wird. Verwandelt man aber vermittelst einer der Brücken K oder k die Anziehung in Abstoſsung, so kommt der bewegliche Leiter rechtwinklich über N schwebend zum Stillstande. Hängt man ihn aber in die Schälchen y′, x′, in welchem Falle die Strömung von y aus rückwärts geht, folglich in dem unteren Theile von h nach g und von d nach c, so bleibt derselbe durch die einander entgegenwirkenden Anziehungen in Ruhe.

Fig. 112. 3. Eine Abänderung dieses Versuches giebt der bewegliche astatische Leiter, in welchem die elektrische Strömung in der Richtung x′abcdefghiy′ erfolgt. In den Schälchen x′, y′ aufgehangen wird er sich so lange drehen, bis de parallel mit NM ist.

Fig. 113. 4. Ampère wollte auch die Frage beantworten, ob bei diesen Apparaten die lothrechten Drähte zur Hervorbringung der beschriebenen Bewegungen etwas beitrügen. Daſs dieses wirklich der Fall sey, zeigte ein beweglicher Leiter, in welchem der elektrische Strom von x′ durch ab, dann den Halbkreis bc, von hier durch den lothrechten Draht cd und den ganzen Kreis de bis f geht, dann den andern Halbkreis fg in

entgegengesetzter Richtung durchläuft, von hier nach h gelangt, und nach durchlaufenem ganzen Kreise hi wieder nach y' gelangt. Wird dieser bewegliche Leiter in die Schälchen x' y' über dem festen Leiter schwebend aufgehangen, so können die Kreise keine Wirkung äußern, aber dennoch stellen sich die lothrechten Enden mit einer geringen Kraft über den festen Leiter.

5. Auch lothrecht neben einander herabgehende Drähte ziehen sich bei gleicher Richtung des elektrischen Stromes an und stoßen sich bei entgegengesetzter ab. Um dieses zu zeigen, setzt Ampère einen andern festen Leiter an die Stelle des bisherigen, dessen Zapfen L, L, L, L, gleichfalls in die gleichmäßig bezeichneten Löcher des Hauptapparates passen, indem zugleich die Metallspitzen G, H sich in die mit Quecksilber gefüllten Vertiefungen senken. Hiernach geht der elektrische Strom dann von H aus aufsteigend durch mn und kehrt durch op nach G zurück, oder in umgekehrter Richtung. Wird dann der bewegliche Draht in die Gefäße x, y aufgehangen, wobei die Seite bc parallel neben nm herabhängt, so werden diese beiden Drähte bei gleicher Richtung der elektrischen Ströme einander anziehen, bei entgegengesetzter aber abstoßen. Diese Erscheinungen lassen sich auch an dem (oben III. C. 2) beschriebenen, durch v. Althaus angegebenen Apparate nachweisen, wenn man neben der lothrechten Seite des beweglichen Leiters einen mit ihm parallelen Draht heraufführt, und durch diesen den elektrische Strom in gleicher oder entgegengesetzter Richtung leitet.

Fig. 114. Fig. 111.

6. Krummgebogene Drähte sind in ihrem Verhalten den geraden gleich. Um dieses zu zeigen, stellt man den eben beschriebenen Apparat so, daß die Metallspitzen G', H' in die Vertiefungen mit Quecksilber gesenkt werden. In diesem Falle steigt der galvanische Strom von H' aus durch ru aufwärts, am gebogenen Drahte tv herab, durch po wieder aufwärts und durch nm wieder herab, um durch G' weiter geleitet zu werden. Der bewegliche gewundene Draht wird dann in die Gefäße x, y, so gehangen, daß seine Seite bc zwischen den beiden Drähten nm und tv herabhängt, und weil derselbe für die Anziehungen nicht füglich in gleiche Entfernung von beiden gebracht werden kann, so wählt man für den beweglichen Leiter bc die entgegengesetzte Strömung, in welchem Falle er von

Fig. 114. Fig. 111.

den beiden Drähten nm und tv gleichmäſsig abgestoſsen wird, und in der Mitte zwischen ihnen zur Ruhe kommt.

7. So wie ein beweglicher elektrischer Leiter einen magnetischen Pol, und wiederum dieser jenen fortwährend umkreiset, so muſs dieses auch bei zwei elektromagnetischen Leitern der Fall seyn, wenn einer derselben eine hinlängliche Beweglichkeit hat. Es folgt dieses schon daraus, daſs in den Leitungsdrähten ein ganz eigentlicher Magnetismus erzeugt wird, auch läſst sich die Nothwendigkeit dieser Erscheinungen aus dem
Fig. 108. oben untersuchten Verhalten zweier Leitungsdrähte ableiten, woraus zugleich folgt, daſs bei gleicher Richtung der elektrischen Ströme der Draht *a* wie ein Nordpol, bei ungleicher Richtung derselben aber wie ein Südpol den Leiter a umkreisen muss.

Für alle diese verschiedenen Rotationsversuche hat Ampère mit seinem oft erwähnten allgemeinen Apparate eine besondere Vorrichtung verbunden. Diese besteht aus einem Dreifuſse,
Fig. 115. dessen Spitzen l, l, O in die gleichbezeichneten Löcher, die Drahtenden H, G aber in das Quecksilber der gleichbezeichneten Vertiefungen gesenkt werden. Auf diesen, gleichfalls mit einem
Fig. 116. Multiplicator umgebenen, Dreifuſs wird ein kupfernes Gefäſs so gestellt, daſs die Metallspitze l in die gleichbezeichnete Vertiefung des Dreifuſses kommt, von wo aus ein Kupferdraht nach O herabgeht. Dieses Gefäſs wird mit verdünnter Säure gefüllt, in welche die rotirenden Apparate gesenkt werden. Hängen dann in den Schälchen x, y; x′, y′ keine bewegliche Leiter, so geht der elektrische Strom nicht durch diese, sondern nachdem er den Multiplicator des Dreifuſses durchlaufen hat, welcher aus einem mehrmals umgewundenen schmalen Streifen des dünnsten Kupferbleches besteht, dessen Enden in G und H gesenkt sind, so gelangt er zur Rinne B, zur Vertiefung c′, und unter der Voraussetzung, daſs die Brücke k nach der rechten Hand herabgedrückt ist, nach dem Schälchen S, welches durch die Oeffnung l′ in dem kupfernen Gefäſse in die Höhe geschoben wird, durchläuft den darin aufgehangenen beweglichen Leiter, dringt durch die verdünnte Säure des Gefäſses und diese selbst, und gelangt durch die Rinne O o d′ zum negativen
Fig. 109. Leiter. Will man statt des runden festen Leiters einen geraden anwenden, so wird hierzu der oben beschriebene Rectangel benutzt, indem man denselben umdrehet, die Zapfen L, L, L, L in die Löcher L′, L′, L′, L′ steckt, die Spitzen G, H aber in die

gleichbezeichneten Vertiefungen, wodurch der Multiplicator desselben eine Tangente an dem Umfang des beweglichen Leiters bildet.

Zu den Rotationsversuchen hat AMPÈRE ferner drei Apparate eingerichtet, welche sämmtlich aus einem dünnen Streifen Kupferblech an Drähten hängend bestehen, und wobei der erstere in die verdünnte Säure gesenkt wird, während das Gewicht des Ganzen auf einer feinen Spitze ruhet. Der eine dieser Apparate hat längere lothrechte Drähte ab und cg, und bei dem Gebrauche desselben muſs daher die Stange mit dem Quecksilbergefäſse S höher heraufgerückt werden, welches wegen der Feder II' leicht zu bewerkstelligen ist. Ein kleiner Streifen Holz gd unterbricht den elektrischen Strom, welcher also von s ausgehend durch ba dem kupfernen Ringe zugeführt wird. Der zweite bewegliche Leiter hat die lothrechten Drähte nicht, sondern nur einen horizontalen Träger, und da auch dieser durch ein hölzernes Stäbchen gd unterbrochen ist, so gelangt der elektrische Strom von s aus durch a zum metallenen Ringe. Der dritte ist diesem übrigens vollkommen gleich, jedoch hat er bei t ein kleines Stückchen Elfenbein, welches die elektrische Strömung unterbricht, und wobei es einen Unterschied in den Resultaten macht, ob dieses zwischen a und f oder zwischen a und e eingesetzt ist. Zur Erzeugung einer klareren Uebersicht mögen die Erscheinungen, welche ein jeder dieser beweglichen Leiter darbietet, einzeln betrachtet werden.

Fig. 117.

Fig. 118.

Fig. 119.

a. Wird der erste bewegliche Leiter der Einwirkung des runden Multiplicators ausgesetzt, so drehet er sich anfangs mit beschleunigter, bald aber mit gleichbleibender Geschwindigkeit um die Spitze s. Läſst man dagegen den geradlinigen Multiplicator darauf wirken, so kommt er in eine feste Lage, indem die Ebene des Rectangels abcd der Ebene des geradlinigen Multiplicators parallel wird, und zwar so, daſs die Seite ab dem elektrischen Strome in MN *entgegen* gerichtet ist, wenn seine Richtung in ba *herabwärts* geht, und *mit* demselben, wenn sie in ab *aufwärts* steigt, beides in Folge der Abstoſsung ungleichgerichteter Strömungen. Wirkt auf diesen beweglichen Leiter bloſs der tellurische Magnetismus, so stellt sich seine Ebene senkrecht auf den magnetischen Meridian, und zwar ab im *Westen* stehend, wenn die elektrische Strömung *aufsteigend* ist, im *Osten* aber, wenn sie *herabwärts* geht.

Dieser Apparat kann auch dazu benutzt werden, die durch Faraday zuerst aufgefundene, oben (III. C, 6) beschriebene Umkreisung des beweglichen Leiters um einen gemeinen Magnetpol zu zeigen. In diesem Falle ist es besser, das hölzerne Stäbchen g d wegzulassen, damit der elektrische Strom von s aus durch beide herabgehende Drähte b a und c d zum unteren Ringe und dem flüssigen Halbleiter gelange, weil beide dann gegen einen in gleicher Entfernung zwischen ihnen befindlichen Magnet ein gleiches Verhältniſs erhalten. Es wird dann durch Herausheben der Metallstreifen H, G aus den Quecksilberschalen die Einwirkung des runden Multiplicators aufgehoben, statt dessen aber wird der Nordpol eines Magnetes neben den Träger des Schälchens S, oder es werden mehrere gleichnamige Pole stählerner Magnete um denselben herumliegend in lothrechter oder geneigter Richtung, selbst horizontal, gehalten. Die Richtung, in welcher die Drehung erfolgt, läſst sich aus Oersted's Hauptversuche leicht bestimmen. Ist nämlich der zwischengehaltene Pol ein Nordpol, und geht die Strömung in den Drähten von unten aufwärts nach s, so erfolgt die Drehung von Osten durch Norden nach Westen und Süden.

b. Der zweite bewegliche Apparat, bei welchem die Wirkung der verticalen Arme wegfällt, erhält durch die Einwirkung des runden Multiplicators gleichfalls eine fortdauernde Kreisbewegung. Ist hierbei die Richtung des Stromes im Multiplicator von α durch β, γ, δ, und im beweglichen vom Mittelpuncte s nach dem Umfange a; so erfolgt die Drehung nach $\delta, \gamma, \beta, \alpha$, und bleibt die nämliche, wenn die Strömung in beiden Leitern die entgegengesetzte Richtung erhält. Soll die umgekehrte erfolgen, so muſs die Strömung in nur einem von beiden Leitern umgeändert werden. Auch dieses mehr verwickelte Phänomen läſst sich sehr einfach auf das angenommene Hauptgesetz zurückbringen, wenn man mit Ampère annimmt, daſs die Wirkung durch den gemeinschaftlichen Einfluſs des in den Leitern hervorgerufenen Magnetismus erzeugt wird. Ist also die Richtung des Stromes im festen Leiter nach $\alpha\beta\gamma\delta$, im beweglichen aber von s nach a, so heben sich zwar die Anziehungen und Abstoſsungen zweier gleichweit von Q im festen Leiter liegenden Puncte auf; allein indem beide Leiter hierdurch in gegenseitige Ruhe gesetzt werden, so muſs eine Bewegung in derjenigen Richtung erfolgen, in welcher sie sich abstoſsen, welche im beweglichen Leiter in

der Richtung $\delta\gamma\beta a$ langsam anfangend, durch die aus der Bewegung selbst hervorgehenden entgegengesetzten Strömungen und die hieraus folgende Abstoſsung verstärkt, zuletzt mit dem zu überwindenden Widerstande gleich wird. Aus diesem einen Schema folgen die übrigen von selbst, auch wird hieraus noch leichter erklärlich, daſs dieser bewegliche Leiter durch die Einwirkung des rechtwinklichen Multiplicators in eine stete Kreisbewegung versetzt wird, welche ungleich seyend das Maximum ihrer Geschwindigkeit erreicht, wenn der Punct a dem Multiplicator NM am nächsten ist, und das Minimum, wenn er am weitesten davon absteht. Nehmen wir auch hier die Strömungen nördlich von N nach M und von s nach a, setzen den letzteren Punct in den gröſsten Abstand von NM in Westen, so wird die Anziehung den Punct a durch Süden nach Osten führen, wo die Geschwindigkeit ihr Maximum erreicht, dann wird Abstoſsung erfolgen, welche den Punct a durch Norden mit abnehmender Geschwindigkeit nach Westen auf den Anfangspunct der Bewegung zurückführt.

Nach Ampère und Demonferrand[1] wird dieser Apparat durch den Einfluſs des tellurischen Magnetismus gleichfalls in Bewegung gesetzt. Hebt man nämlich die Verbindung des elektrischen Stromes mit dem Multiplicator des Dreifuſses dadurch auf, daſs man die Enden der Metallstreifen H und G aus dem Quecksilber hebt, so daſs also die Strömung von s nach a, dann durch den Ring und das gesäuerte Wasser durch I nach O gelangt, so drehet sich der Apparat von West nach Ost durch Süd; hat derselbe aber die Richtung von a nach s, also vom Umkreise nach dem Mittelpuncte, so ist seine Drehung umgekehrt von Ost nach West durch Süd. Es scheint mir indeſs diese Bewegung nicht durch den tellurischen Magnetismus, sondern entweder durch den Einfluſs des lothrechten Leiters IO auf den kupfernen Ring und den Draht sa, oder, was ungleich wahrscheinlicher und fast gewiſs ist, durch die Wirkung des letzteren und des kupfernen Ringes auf das gesäuerte Wasser erzeugt zu werden. Die unzweideutigsten Versuche nämlich zeigen, daſs das Verhalten eines horizontalen und lothrechten, eines geraden und gebogenen elektrischen Leiters ganz gleich ist. So wie also (nach D. 1 bis 7) alle kreisförmig und recht-

1 Handb. d. dyn. El. S. 85.

winklich gebogenen Drähte, auch beim Ermanschen Rotationsapparate, an welchem die lothrechten Theile gegen die horizontalen verhältnifsmäfsig nur kurz sind, keine rotatorische Bewegung annehmen, sondern sich normal auf den magnetischen Meridian gerichtet einstellen, so mufs dieses auch bei einem einzelnen horizontalen Drahte, ohne den Einflufs der angegebenen Wechselwirkung, statt finden. Dafs aber ein solcher Einflufs wirklich vorhanden sey, ergiebt sich aus dem Verhalten des folgenden Apparates.

c. Der dritte Apparat ist in seinem Verhalten dem zweiten gleich, wenn er dem Einflusse des runden und des geraden Multiplicators ausgesetzt ist. Wird dieser aber aufgehoben, dann ist seine Bewegung stets nur nach einer Seite gerichtet, die Strömung gehe von s nach a oder umgekehrt, weil dieselbe nach Ampère[1] selbst aus dem Einflusse der Strömungen in dem kupfernen Ringe und dem gesäuerten Wasser auf einander entsteht.

8. Dafs ein kreisrunder elektrischer Strom auf einen in seinem Centro befindlichen beweglichen Leiter keinen Einflufs habe, wenigstens ihn nicht in eine fortdauernde Rotation versetze, zeigt Ampère, indem er aus dem beschriebenen Dreifufse das Gefäfs mit dem flüssigen Halbleiter herausnimmt, und einen der beweglichen Drähte in die Gefäfschen x′, y′ aufhängt, welche sich dann gerade über dem Centro des Dreifufses befinden. Ist dieses Letztere genau der Fall, so wird der elektrische Strom, welcher den kreisförmigen Multiplicator durchläuft, auf den aufgehangenen beweglichen Draht keinen Einflufs äufsern, welcher denselben in ein stetes Umkreisen versetzen könnte.

9. Ein interessanter, für verschiedene Zwecke anwendbarer, Apparat Ampères besteht aus zwei künstlichen Magneten
Fig. 120. von schraubenförmig gewundenem Drahte. Der eine, ein Cylinder aus übersponnenem und schraubenförmig gewundenem Drahte, dessen beide herabhängende Enden mit ihren Spitzen in das Quecksilber der Vertiefungen G, H getaucht, und hierin durch den Pflock b festgehalten werden, kommt hierdurch in den Kreis der elektrischen Strömung, und wird mit der Hand in den verschiedensten Lagen und Richtungen dem anderen genä-
Fig. 121. hert. Dieser andere, auf gleiche Weise verfertigt, wird mit

1 Ann. C. P. XXVI. 411.

seinen Drahtenden in die Quecksilberschälchen x, y gehangen, und ist sonach als ein beweglicher Magnet anzusehen, welcher für sich dem Einflusse des tellurischen Magnetismus folgt, oder durch den andern ihm genäherten, eben wie durch einen gewöhnlichen Magnet, polarisch angezogen oder abgestofsen wird.

10. Mit diesem Apparate läfst sich dann auch zeigen, dafs ein solcher elektromagnetischer Magnet sich zum elektrischen Verbindungsdrahte wieder als eine gemeine Magnetnadel verhält. Bringt man zu diesem Ende den rectangulären Multiplicator unter den freischwebenden, aus Draht geflochtenen, und stellt den allgemeinen Apparat so, dafs die Ebene des geraden Multiplicators und die Axe des beweglichen Leiters sich im magnetischen Meridian befinden, so wird letzterer sich über ersterem gerade wie eine gemeine Magnetnadel verhalten. Diesen interessanten Versuch kann man noch besser auf folgende Weise anstellen. Man umwickelt eine dünngeschabte Federspule mit übersponnenem feinen Drahte, in nahen Windungen, überzieht den entstandenen Cylinder mit Bernsteinfirnifs, führt den Draht durch die Federspule rückwärts, umwickelt abermals in der nämlichen Richtung, und fährt hiermit so lange fort, als man für schicklich erachtet, führt die Drahtenden wieder nach der Mitte in gerader Linie zusammen, bindet sie mit einem Seidenfaden so fest, dafs die Endspitzen herabhängen, löthet an diese eine Platte Zink und Kupfer, stützt den umwundenen Federkiel auf einen Metalldraht, welcher nach einer Seite in einen Halbkreis von einigen Linien Durchmesser ausgebogen ist, und macht den ganzen Apparat auf einem cylinderförmigen Stücke Kork auf einer geeigneten Flüssigkeit so schwimmen, dafs die beiden Metallplatten in dieselbe eingetaucht sind. Sollen die Versuche vollständig gelingen, so müssen die Metallplatten in dem etwas ausgehöhlten und gehörig geformten Korkstücke so hoch gesteckt werden, dafs die Enden der umwundenen Federspule sich durch die Einwirkung des galvanischen Verbindungsdrahtes auf- und abwärts bewegen. Durch etwas Fett wird dann das Anhängen des Korkes an die Glaswände des Gefäfses aufgehoben, und es kann ein gewöhnlicher Verbindungsdraht der Elektromotoren sowohl über, als auch vermittelst der halbkreisförmigen gebogenen Stütze des umwundenen Federkieles unter diesem, und an beiden Seiten parallel mit demselben gehalten werden, um alle Bewegungen einer wirklichen Nadel zu erhal-

ten. Ein solcher Apparat ist eine Verbindung der von de la Rive und Raschig angegebenen, welche oben schon erwähnt sind[1].

Es ist nicht überflüssig, hier eine Vorsichtsmafsregel Ampère's mitzutheilen, welche bei allen den genannten Apparaten der sehr feinen Spitzen wegen sorgfältig beobachtet werden muſs. Beim Einhängen der beweglichen Leiter in die Quecksilberschälchen muſs man nämlich die Schlieſsung des galvanischen Kreises vorher durch die horizontale Stellung der Brücken K und k aufheben, damit nicht im Augenblicke der Berührung die feinen Spitzen der beweglichen Apparate verbrennen.

F. Wirkung eines galvanischen Leiters auf indifferente Drähte.

Ampère hat bei seinem rastlosen Verfolgen aller elektromagnetischen Erscheinungen seine Versuche auch darauf ausgedehnt, um zu finden, ob ein mit einem elektrischen Leiter parallel laufender Kupferdraht im Wirkungskreise von jenem elektrisch, und hierdurch dann magnetisch würde. Zu diesem Ende hing er einen kreisförmig gebogenen Kupferdraht an einem ungezwirnten Seidenfaden mit lothrechter Ebene so auf, daſs derselbe von einem gleichfalls lothrecht gehaltenen Multiplicator umgeben war, und näherte ihm dann einen Magnet. Anfangs konnte er keinen Einfluſs beider auf einander wahrnehmen, und hielt daher die Einwirkung eines galvanischen Leiters auf einen mit ihm parallelen, nicht im Kreise der Elektricität befindlichen

1 Ueber solche künstliche Magnete vergl. Faraday bei G. LXXI. 164. Die Bemühungen dieses eifrigen Physikers, das Umkreisen elektromagnetischer Apparate durch tellurischen Magnetismus zu bewirken s. ebend. LXXII. 118. Ein erst vor Kurzem von Ampère angegebener Apparat, welcher die gegenseitige Anziehung elektromagnetischer Leiter zeigt, ist weitläuftig zu beschreiben, und scheint mir daher nicht wichtig genug, um hier eine Aufnahme zu finden. S. Ann. Ch. Ph. XXIX. 217. Einen interessanten Apparat hat ferner Barlow construirt, eine Art von *Terrelle*, indem er eine Kugel nach der Richtung der magnetischen Meridiane und Parallele mit Draht überzog, und diese in den Strom der Volta'schen Elektricität brachte, wodurch dann eine darüber schwebende Magnetnadel sich ähnlich wie über der wirklichen Erde verhielt. S. Edinb. J. of Science N. 1. S. 139. Die Sache ist sinnreich, bleibt aber immer nur eine angenehme Spielerei.

Metalldraht für unmöglich. Als er aber einen stärkeren Elektromotor und einen kräftigern Magnet anwandte, zeigte sich's, daſs *ein elektrischer Strom in leitenden Körpern, neben denen er vorbeigeht, den nämlichen Magnetismus hervorruft, welcher in ihm selbst erzeugt ist*[1].

Es ist sehr wahrscheinlich, daſs bei diesem Versuche eine Täuschung statt gefunden hat. Ich selbst habe die Erscheinung bei der Anwendung des oben (II. A. 6.) beschriebenen starken Apparates nicht wahrnehmen können, und sie ist auch sonst von niemanden beobachtet, steht auſserdem durchaus im Widerspruche mit allen bisher bekannten Thatsachen, und man muſs sich daher wundern, daſs Ampère das eigentliche Wesen, hauptsächlich aber vorläufig die Gewiſsheit derselben nicht weiter geprüft hat, welches bloſs daraus erklärt werden kann, daſs dieser emsige Forscher den elektrischen Strom, als solchen, als das eigentliche wirkende Agens anzusehen pflegt. Die Elektricität eines Leiters aber, welcher zwei Volta'sche Elektromotoren verbindet, kann auf einen frei schwebenden, mit ihm parallelen Draht keinen *elektrischen* Einfluſs haben, da er das feinste Blattgoldelektrometer nicht afficirt. Daſs aber der in ihm erregte *Magnetismus* in einem Kupferdrahte Magnetismus hervorrufen sollte, ist den ausgebreitetsten und zahlreichsten bisherigen Beobachtungen entgegen. Darf man indeſs die Beobachtung als richtig ansehen, so ist es möglich, daſs der von Ampère gebrauchte Kupferdraht ähnliche Erscheinungen gezeigt hat, als von mir bei der Prüfung dieser Angabe an einem etwas eisenhaltigen Messingdrahte beobachtet sind[2]. Dabei ist es sehr auffallend, daſs Ampère anfangs etwas für unmöglich erklärte, was in einem nachfolgenden Versuche als wirklich zum Vorschein gekommen seyn soll, und auf allen Fall eine weitere Prüfung an verschiedenen Drähten erfordert hätte. Jene von mir aufgefundene Erscheinung ist indeſs, mindestens höchst wahrscheinlich, durchaus nicht elektromagnetisch, gehört also nicht hierher, sondern in das Gebiet des *Magnetismus.*

Becquerel[3] will ferner gefunden haben, daſs ein elektrischer Strom aus einer starken Batterie, nach Wollaston's Art,

---

1 Demonferrand a. a. O. S. 184.

2 Poggendorf Ann. d. Ph. VI. 361.

3 Ann. Ch. Ph. XXV. 269.

durch einen Schweiggerschen Multiplicator geleitet, kleinen Nadeln von den verschiedensten Substanzen eine bestimmte Richtung ertheile, dafs aber ein genäherter Magnet auf dieselben in dieser Richtung anscheinend nicht wirke. Diese Thatsache, welche in der gegebenen Darstellung weder zu den bisher bekannten elektromagnetischen, noch auch den magnetischen Erscheinungen pafst, verdient vor der Beurtheilung erst genauer begründet zu werden.

IV. Theorieen des Elektromagnetismus.

In den frühern Abschnitten sind die sämmtlichen elektromagnetischen Erscheinungen, ohne Auslassung irgend einer mir bekannt gewordenen und für die Erklärung bedeutenden, mitgetheilt. Soll auf diese eine Theorie gegründet werden, so kann dieselbe auf eine dreifache Weise gebildet seyn, entweder indem man die gesammten Erscheinungen auf ein gemeinsames, aus ihnen selbst entnommenes, Gesetz zurückführt, oder wenn man hiermit nicht zufrieden, dieses Gesetz selbst wieder auf andere Naturgesetze gründet, wonach ähnliche und verwandte Phänomene erfolgen, so dafs also das neu aufgefundene Gesetz mit schon bekannten zusammenfällt, oder endlich wenn man das eigentliche Wesen der wirksamen Potenz und der ihr eigenthümlich zukommenden Kräfte nebst ihrem gegenseitigen Verhältnisse zu ergründen sucht. In Beziehung auf diese letztere Aufgabe müssen wir uns bescheiden, dafs wir bis jetzt weder irgend einen materiellen Stoff noch eine Kraft an sich und ihrem eigentlichen Wesen nach kennen, wenn anders dieses Wesen nicht in den uns bekannten Eigenschaften und Wirkungsarten derselben gegeben ist; wir dürfen daher nicht erwarten, das eigentliche Wesen des Elektromagnetismus anders zu erkennen, als in sofern wir das oder die allgemeinen Gesetze seiner Wirksamkeit ergründen. Sollen aber, nach der ersteren Bestimmung, alle Phänomene blofs auf eine gemeinsame Regel, eine allen zum Grunde liegende Norm zurückgebracht werden, ohne dafs man das eigentliche Wesen derselben zu bestimmen sich vornimmt, so ist dieses durch alle diejenigen geschehen, welche eine Theorie derselben aufzustellen versucht haben, und dieses ist bei der Einfachheit der Sache durchaus nicht schwierig. Obgleich hierbei von den verschiedenen Physikern verschiedene Ausdrücke gewählt sind, so kommen doch alle Darstellungen auf das Nämliche zurück, und der Vorzug der einen

vor der andern kann bloſs in der Leichtigkeit der Uebersicht des Ganzen liegen. So ist AMPÈRE's Ausdruck einer Entstehung des Nordpoles durch eine von Osten kommende elektrische Strömung, mit dem durch GILBERT gewählten einer links gerichteten Abweichung des Nordpols unter dem durchströmten Leitungsdrahte dem Wesen nach identisch, und eben dieses lieſse sich von den übrigen Vorstellungsarten nachweisen. Die von mir gewählte Darstellung der Thatsachen schien mir deswegen die beste, weil sie durchaus keine Theorie einmischt, sondern die Phänomene allein in ihrer ganzen Einfachheit wiedergiebt, und auſserdem von dem Verhalten des magnetischen Poles nicht etwa *über* oder *unter* dem Leitungsdrahte, sondern in seinem ganzen Umfange entlehnt ist. Inzwischen ist hierdurch schlechthin keine Theorie, sondern bloſs eine nackte Darstellung der elektromagnetischen Erscheinungen gegeben, und wenn jene verlangt wird, so müssen bei der Unmöglichkeit, das eigentliche Wesen des Elektromagnetismus zu ergründen, zum mindesten seine Erscheinungen mit andern Naturphänomenen in Zusammenhang gebracht werden, welches dann der oben angegebenen zweiten Forderung an eine Theorie genügen würde. Die hiermit zusammenhängenden Naturerscheinungen aber, welche ihrem eigentlichen Wesen nach zwar unbekannt sind, rücksichtlich der Gesetze ihres Verhaltens aber zu den unlängst bekannten gezählt werden, sind die *elektrischen* und *magnetischen*, welche durch die wichtige Entdeckung des *Elektromagnetismus* in eine innige Verbindung treten, und namentlich steht jetzt der Magnetismus mit seinen früher allein bekannten höchst einfachen Erscheinungen und wenigen Gesetzen nicht mehr fast ganz auſser aller Verbindung mit den übrigen Naturkräften und Phänomenen. Diejenigen Forderungen, welche sonach billigerweise an eine Theorie des Elektromagnetismus gemacht werden können, betreffen hauptsächlich die Beantwortung der Fragen, in welchem Verhältniſs derselbe zu jenen beiden stehe, und ob seine Erscheinungen mehr der Elektricität oder dem Magnetismus angehören oder zwischen beiden in der Mitte liegen, und ein gewisses eigenthümliches, für sich bestehendes Ganzes bilden.

Von der Entdeckung des Elektromagnetismus an bis auf diesen Augenblick sind alle Physiker darüber mit einander einverstanden gewesen, die elektromagnetischen Erscheinungen

seyen schlechthin als magnetische anzusehen, jedoch von einer eigenthümlichen Modification, deren Bestimmung eben die Schwierigkeit der Sache und das Abweichende in den verschiedenen Ansichten und Bestimmungen ausmacht, welche deswegen eine nähere Prüfung verdienen. Rücksichtlich auf das Verhältniſs zur Elektricität sind die Meinungen getheilt und einander entgegengesetzt. Einige Physiker nämlich nehmen an, oder vielmehr es scheint aus ihrer Darstellung die Meinung zu folgen, *Elektricität und Magnetismus seyen einander gleich*, es gehe die eine in den andern über; andere dagegen halten *beide für verschiedene Potenzen*, legen einer jeden derselben ein eigenthümliches Substrat unter, sofern sie sich nicht zu der Ansicht bekennen, daſs eine Kraft ohne ein materielles Substrat für sich allein wirksam seyn könne, und sie müssen sonach annehmen, der Magnetismus werde im elektrischen Leitungsdrahte auf eine gewisse individuelle, hierdurch erst erkannte, Weise hervorgerufen oder freigemacht, welche dann den anderweitigen Erregungen des Magnetismus entweder ähnlich oder von diesen verschieden seyn kann.

Prüfen wir zuerst jene Ansicht, wonach *Elektricität* und *Magnetismus gleich seyn sollen*, so zeigt sich bald, daſs diese bei weitem die dunkelste sey, selbst schon hinsichtlich des bloſsen Ausdrucks einer Identität oder wesentlichen Gleichartigkeit. Daſs diese letztere im strengsten Sinne zwischen zwei so wesentlich verschiedenen Potenzen angenommen werde, deren Gesammterscheinungen bei der Anwendung von nur wenigem Scharfsinne auch durch die kühnste Phantasie nicht vereinigt werden können, läſst sich kaum denken. Ohnehin hat die Geschichte der Naturwissenschaften genügend bewiesen, wie weit man vom eigentlichen Ziele entfernt war, als man alle Stoffe auf wenige Grundstoffe zurückbrachte, in allen Erscheinungen der Imponderabilien aber einen Universaläther oder eine Universalkraft zu finden glaubte. Selbst das Phlogiston, welches mehr durch speculirende Phantasie als durch kritische Prüfung genauer Beobachtungen eingebürgert war, diente nur dazu, die Erscheinungen in ein undurchdringliches Dunkel zu hüllen, und das eigentliche Licht ging der Wissenschaft erst dadurch auf, daſs Lavoisier das durch unterscheidende Merkmale Verschiedene sonderte, und einem jeden eigenthümlichen Stoffe seinen besonderen Platz anwies. Daſs aber Elektricität

und Magnetismus als wesentlich verschiedene Potenzen, und selbst in den elektromagnetischen Erscheinungen durch unterscheidende Merkmale gesondert hervortreten, ist keinen Augenblick zweifelhaft. Um nur einige der wesentlichsten dieser unterscheidenden Kennzeichen namhaft zu machen, so wird die Elektricität im Leitungsdrahte durch die gewöhnlichen Nichtleiter isolirt, während der zugleich hervorgerufene Magnetismus dieselben frei durchdringt, ein Argument, welches Davy[1] allein schon für genügend hält, um die Meinung einer Gleichheit beider für unstatthaft zu erklären. Umgekehrt zeigen auch die stärksten Magnete keine einzige elektrische Wirkung, indem sie weder allgemein leichte Körper anziehen und abstofsen, noch auch durch ihren Magnetismus chemische Veränderungen hervorbringen, ja sie verhalten sich sogar im Kreise der Volta'schen Säule als blofse metallische Leiter (II. 3. d.) und äufsern in dem Falle, wenn man ihre Pole auch bei gröfster Kraft derselben mit den Enden eines kräftigen Multiplicators verbindet, auf die empfindlichste Nadel durch dieses unglaubliche Verstärkungsmittel nicht den mindesten Einflufs. Endlich hat unter andern C. H. Pfaff nachgewiesen (III. A. 13), dafs in einem von einfacher Reibungselektricität durchströmten Drahte eine noch sichtbare Funken zeigende Menge von Elektricität bleibend vorhanden ist, ohne dafs derselbe auch nur die mindesten Spuren einer magnetischen Wirkung auf die empfindlichsten Nadeln hervorzubringen vermag. Man müfste in einem solchen Leiter also freie Elektricität = Magnetismus als vorhandenseyend und doch nicht wirksam annehmen, welches ein Widerspruch ist, oder nachweisen, warum diese Art der Elektricitität kein Magnetismus sey, wodurch aber der aufgestellte Satz wieder aufgehoben wird. Sucht man indefs den Beweis für ihre Identität hauptsächlich darin, dafs die Elektricität den Magnetismus in dem leitenden Körper hervorruft, so ist es noch fraglich, ob dieses nicht durch einen mechanischen Schlag mit einem hölzernen Hammer während der Dauer desselben in einem geringen Grade gleichfalls geschieht, und da dieser im Stahl bleibenden Magnetismus erregt, so könnte man hiernach auf gleiche Weise entweder den Hammer selbst oder den Schlag mit demselben für identisch mit Elektricität und Magnetismus ansehen.

---

1 Phil. Tr. 1821. I. S. 7. Vergl. G. LXIX. 77. LXXI. 240.

Wenn nun aber bei so auffallenden Verschiedenheiten in ihren Wirkungen Elektricität und Magnetismus von den scharfsinnigsten Gelehrten für wesentlich identisch angesehen werden, namentlich von dem berühmten Entdecker des Elektromagnetismus, Oersted, und dem um die vollständige Bearbeitung dieses Gegenstandes so verdienten Ampère, denen noch v. Yelin, Prechtl und andere zugezählt werden können, so dringt sich nothwendig die Frage auf, wie diese von ihnen behauptete Identität zu verstehen und mit den augenfälligst widersprechenden Erscheinungen zu vereinigen sey. Indefs ist eine genügende Antwort hierauf wegen der Dunkelheiten in den gewählten Ausdrücken nichts weniger als leicht. Im Allgemeinen läfst sich inzwischen so viel als gewifs erkennen, dafs bei der behaupteten Gleichheit von dieser nicht in so fern die Rede sey, als ob beiden in den individuellen Arten ihrer Wirksamkeit ganz gleiche Thätigkeitsäufserungen zugeschrieben würden, welches auch in der That unmöglich wäre, sondern es soll nur beiden ein und dasselbe Princip zum Grunde liegen. Leider aber kennen wir im ganzen Gebiete der Natur weder irgend einen wägbaren Stoff, noch auch eine einzige sogenannte unwägbare Potenz ihrem eigentlichen Wesen nach in ihrem ganzen Umfange, viel weniger aber irgend eine der wirksamen Kräfte, und man kann also schon im Voraus wissen, was von einer solchen Bestimmung über die Grundkräfte zu halten sey, welche noch dazu auf eine in den Erscheinungen selbst die auffallendsten Widersprüche findende Gleichheit derselben führt. Ein weit sicherer Weg der Forschung war vielmehr der, von den Phänomenen auf die nächste Ursache derselben zu schliefsen, und auf diese Weise müssen Elektricität und Magnetismus für verschiedene Potenzen gehalten werden.

Die Vorstellungen derjenigen, welche sich zu der genannten Identität bekennen, sind übrigens nicht gleich. Nach Oersted, von Yelin u. a. sind die Aeufserungen beider zwar verschieden, allein sie zeig so viel Uebereinstimmendes, und sind in ihrer ursprünglichen Entwickelung so innig mit einander verbunden, dafs sie sich auf eine und dieselbe Grundkraft zurückbringen lassen, welche sich in ihnen nur verschieden modificirt zeigt. Dieser Vorstellung kann man nicht anders beitreten, als wenn man dem ganzen, hierbei zum Grunde liegenden Systeme huldigt, wonach alles Materielle zuletzt auf eine

oder wenige Grundkräfte zurückgebracht wird, eine Theorie, welche die Wissenschaft nicht gefördert hat und nicht fördern kann [1]. Die Ansichten Ampère's und seiner Anhänger sind hiervon verschieden. Ohne die ganze Natur auf entgegengesetzte Urkräfte zurückzuführen, welches mindestens aus seiner Darstellung des Elektromagnetismus nicht folgt, drückt er bloſs das Verhalten des Leiters der Elektricität rücksichtlich auf den in ihm hervorgerufenen Magnetismus aus, und behauptet dabei nicht, letzterer werde durch die erstere hervorgerufen, noch auch werde jene in diesen ganz eigentlich umgewandelt, vielmehr liefere die Elektricität oder die elektrische Strömung den Magnetismus unmittelbar, sie sey selbst Magnetismus. Hiernach soll auch der tellurische Magnetismus aus denjenigen elektrischen Strömungen bestehen, welche durch die Sonne aufgeregt stets von Osten nach Westen die Erde umkreisen. Ampère hat sich offenbar durch seinen Eifer, die höchst interessante neue Entdeckung vollständig zu erklären, verleiten lassen zu übersehen, daſs in seiner Darstellung der Sache derjenige Fehler obwaltet, welchen man einen Kreis im Beweise nennt. Weil nämlich der elektrische Strom den Leiter magnetisch polarisch macht, so schlieſst er, auch der gemeine Magnet müsse durch solche Strömungen polarisch seyn, und weil der Magnet Pole zeigt, so müssen solche elektrische Strömungen existiren, welche als solche, wiederum dem Stahle die ihm eigenthümlichen Pole geben. Wollte Ampère bloſs aus Erfahrungen unmittelbar seine Theorie ableiten, so wäre es besser gewesen, diese vorausgesetzten Strömungen künstlich nachzubilden. Ein frei schwebender Stahlstab einem auf seine Axe normal gerichteten, über seine ganze Länge ausgedehnten elektrischen Strome aus Spitzen ausgesetzt, wird nicht magnetisch, und doch müssen diese Strömungen stärker seyn als die tellurischen, weil man jene wahrnimmt, diese aber auch nicht mit den feinsten Instrumenten. Man könnte hiergegen einwenden, daſs zwischen solchen elektrischen Strömungen und denen über den ganzen Erdball stattfindenden, welche diesem den tellurischen Magnetismus ertheilen sollen, ein groſser Unterschied statt finde. Allein hierauf ist zu erwiedern, daſs wir die Wechsel und Schwankungen der atmosphärischen Elektricität, welche doch ohne Zweifel mit der

---

1 Vergl. *Materie*.

tellurischen in engster Wechselwirkung stehen, sehr genau kennen, daſs diese indeſs weder von einer polarischen noch aequatorischen Strömung irgend eine Spur zeigen, und wollte man also eine solche, auf keine directe Beobachtung, sondern bloſs auf eine erst zu beweisende Wirkung gegründete, Ursache des tellurischen Magnetismus dennoch einer Theorie als erwiesene Thatsache zum Grunde legen, so gliche dieses den bekannten Erklärungen älterer Physiker aus dem Elementarfeuer, welchem alle Eigenschaften des gewöhnlichen Feuers beigelegt wurden, mit Ausnahme des Erwärmens und Brennens, wodurch wir indeſs allein den Begriff des Feuers erhalten haben [1].

Prechtl's Vorstellung von der Identität der Elektricität und des Magnetismus liegt zwischen den beiden eben erwähnten etwa in der Mitte, kann aber hier nur in ihren allgemeinsten Principien kurz angedeutet werden. Schon vor der Entdeckung des Elektromagnetismus glaubte Prechtl die wichtigsten Naturerscheinungen auf einen attractiven und einen chemischen Effect der Elektricität zurückbringen zu können, welche sich in ihrer Allgemeinheit als Magnetismus und Chemismus zeigen sollen. Für diese Ansicht schien ihm eine unerwartete Bestätigung durch Oersted's Entdeckung gegeben zu seyn. Die Volta'sche Säule nämlich soll eben diese zwei Effecte zeigen, den attractiven als groſsplattige und den chemischen als vielelementige, und beide Kräfte sollen sich einander aufheben. — So wie aber jener erste Satz als bloſses Spiel der Phantasie erscheinen muſs, so stimmt dieser letztere mit dem bekannten Verhalten der Säule selbst nicht überein, welche als bloſser Erreger der Elektricität diese rücksichtlich des Quantitativen den Metallflächen, rücksichtlich des Intensiven den Mengen der Elemente proportional hervorruft, ohne ein gegenseitiges Aufheben dieser beiden Thätigkeiten. Daſs aber die Elektricität unter verschiedenen Bedingungen der Leitung und Strömung verschiedenartige Effecte zeigen könne, darf nicht mehr auffallen, seitdem man unter andern weiſs, daſs ein und dieselbe und auf gleiche Weise geladene Flasche das Schieſspulver durch einen nassen Bindfaden entzündet, durch einen Metalldraht aber bloſs umherstreuet. — Der elektrische Leitungsdraht ist dann fer-

1 Ein Hauptargument gegen diese Vorstellung Ampère's. S. unten IV. F. 2.

ner nach PRECHTL ein eigentlicher Magnet, und als eine trockne Säule zu betrachten, in welcher die nämliche Elektricitäts-Vertheilung vorhanden ist, wie in der isolirten Säule. „Eine wahre trockne Säule ist daher eine wahre magnetische Säule: sie wird nicht nur den Magneten afficiren, sondern sie wird auch bei hinlänglicher Intensität (durch die Anzahl der Schichten bewirkt) die tellurische Polarität zeigen[1]." — Hemmte nicht nach vielfachen Erfahrungen der Eifer, eine allgemeine Construction der Naturgesetze durch Speculation aufzufinden, die freie Urtheilskraft selbst groſser Gelehrten, so wäre unbegreiflich, wie ein so erfahrner und scharfsichtiger Naturforscher, als PRECHTL ohne Widerrede ist, in diesen letzten Sätzen gerade das Gegentheil von demjenigen aufstellen konnte, was die Beobachtung und eine hierauf gegründete Theorie ergiebt und ergeben muſs. Die Elektricität nämlich sowohl allgemein als auch hauptsächlich die der Volta'schen Säule äuſsert die magnetischen Wirkungen so viel leichter und mit so viel gröſserer Stärke, je freier und ungehinderter sie strömt, weswegen zwei elektromotorische Elemente, durch die bestleitende Flüssigkeit getrennt, dem Verbindungsdrahte den stärksten Magnetismus ertheilen. Hiermit nicht wohl verträglich ist PRECHTL's Hypothese, daſs in einer solchen zweiplattigen Säule die stärkste Repulsion, in einer mehrplattigen der stärkste Chemismus gegeben sey, indem bekanntlich SINGER's Riesenapparat und HARE's Deflagrator am feinsten Elektrometer kaum eine Spur der Repulsion oder Attraction zeigen. Da aber jede unvollkommene Leitung, noch mehr aber jeder trockne Zwischenkörper, durch Erschwerung der freien elektrischen Strömung die Erzeugung des Magnetismus schwächt oder gänzlich aufhebt, so ist gar nicht abzusehen, wie eine trockne Säule vorzugsweise ein Magnet werden sollte, welche vielmehr den Versuchen zu Folge gar keine elektromagnetische Wirkungen zeigt. (II. i. A.) Ungleich richtiger, vollkommen naturgemäſs und klar ist es dagegen, wenn SEEBECK[2] aus seinen Versuchen gerade den entgegengesetzten Schluſs folgert. Indem nämlich die elektromagnetische Wirksamkeit mit der Vermehrung der Plattenpaare abnahm, wobei aber bekanntlich die elektrische Spannung wächst,

1 G. LXVII. 82 bis 84.

2 Berlin. Denksch. 1820—21. S. 308 u. 9.

eine trockne Säule von 800 Lagen dagegen nicht die mindeste Wirkung auf die Magnetnadel äufserte, ein Goldblattelektrometer aber zum Anschlagen brachte, so ist eine wesentliche Verschiedenheit der Elektricität und des Magnetismus keinen Augenblick zu bezweifeln.

Späterhin hat sich indefs Prechtl selbst gegen eine Identität der Elektricität und des Magnetismus erklärt, da die Wirkungsarten beider verschieden sind. Allein diese Verschiedenheit beider bezieht sich dennoch zunächst nur auf die Erscheinungen, welche sie darbieten, indem übrigens beide auf einer einzigen Grundursache beruhen sollen[1], welches also auf Oersted's Ansicht zurückkommt.

Aus dieser Darstellung geht wohl unverkennbar hervor, dafs wir noch weit entfernt sind, die Naturphänomene aus ihren höchsten und einfachsten Grundgesetzen ableiten oder auf diese zurückführen zu können. Wäre dieses überhaupt möglich, so konnte es schon früher geschehen, und bedurfte es hierzu nicht erst der Entdeckung des Elektromagnetismus, welcher eben seiner Neuheit wegen noch obendrein am wenigsten geeignet war, diesen kühnen Versuch daran zu wagen. Von einer Theorie des Elektromagnetismus kann also nichts weiter gefordert werden, als dafs sie *die gesammten Erscheinungen desselben unter ein oder einige allgemeine und mit sich selbst übereinstimmende Hauptgesetze bringe, und wo möglich zugleich zeige, in wie fern diese mit den bekannten Gesetzen der Elektricität und des Magnetismus übereinstimmen.* Diese höchst schwierige Aufgabe ist zwar von verschiedenen Gelehrten versucht, ohne dafs es jedoch bis jetzt nach meiner Ansicht noch irgend einem gelungen ist, sie völlig befriedigend zu lösen, welches vielleicht hierbei eben wie bei so manchen andern Gegenständen der Naturforschung dem menschlichen Geiste für immer unmöglich bleibt. Es ist indefs erforderlich, die verschiedenen Theorieen einzeln zu prüfen, damit sie künftigen Versuchen dieser Art zur Grundlage dienen können. Hierbei bleibt es unberücksichtigt, welche Vorstellungen über das eigentliche Wesen der Elektricität und des Magnetismus zum Grunde liegen, wenn nur die Theorie die *Erscheinungen selbst* genügend ausdrückt und erklärt.

---

1 Kastner's Archiv. II. 164.

A. Oersted's Theorie.

Diese muſs als die zuerst aufgestellte und noch mehr wegen des berühmten Erfinders des Elektromagnetismus billig voranstehen, kann aber wegen ihrer Einfachheit dem Wesen nach mit wenigen Worten dargestellt werden. Schon in der ersten Schrift, wodurch die neue Entdeckung bekannt wurde[1], stellte Oersted die Hypothese auf, daſs die Elektricität auf die magnetischen Theilchen der Körper wirke, welche einen Widerstand dagegen ausübten, und dadurch in Bewegung gesetzt würden. Die Bewegung der Elektricität in den Leitern konnte nicht anders als fortschreitend angenommen werden, und da die Bewegung des magnetischen Poles um den Leitungsdraht kreisförmig erschien, so konnten beide nicht anders als in einer schraubenförmigen Umkreisung vereinigt werden, weswegen Oersted der Elektricität oder vielmehr dem hierdurch erzeugten Magnetismus eine solche zuschrieb. Bei der Annahme von zwei Elektricitäten sollte dann die + E. in ihrer Wirbelbewegung den Südpol des Magnetes zurückstoſsen, die — E. aber in entgegengesetzter Richtung wirbelnd den Nordpol, beide aber auf die entgegengesetzten Magnetismen gar keinen Einfluſs ausüben. Nach späteren ausführlicheren Erklärungen Oersted's[2] ist ein Hauptsatz seiner Theorie, daſs in dem mit Widerstand verknüpften Zusammentreffen der entgegengesetzten Elektricitäten diese eine eigenthümliche Wirkungsform annehmen, nach welcher die positiv elektrische Kraft den magnetischen Südpol abstöſst, den Nordpol anzieht; die negative dagegen den Nordpol abstöſst und den Südpol anzieht; die Bewegung beider Elektricitäten geschieht aber in einer Schraubenlinie. Oersted erläutert seine Ideen durch eine graphische Darstellung. Es bezeichnet nämlich AB eine solche in eine gerade Linie ausgespannte spiralförmige Windung, deren Magnetismen von B mit + anfangend nach A hin in — übergehen, indem jenes die Zuströmung der positiven, dieses dagegen der negativen Elektricität bezeichnet. In der Richtung von + aus wird dann der Süd- Fig. 122.

1 Experimenta circa efficaciam conflictus electrici in acum magneticam. Hafniae 21. Jul. 1820. Für die Theorie der Wirbel hat sich auſserdem hauptsächlich Wollaston erklärt. S. G. LXVIII. 32.

2 Schweigg. J. XXXII. 199. XXXIII. 123.

pol der Magnetnadel, von — aus aber der Nordpol abgestoßsen. Biegt man einen so geformten Stab in einen Kreis, so stellt derselbe einen Querschnitt des elektrischen Leitungsdrahtes vor. Ob dann die gesammten Lagen dieser magnetischen Polaritäten schraubenförmige Windungen oder Kreise bilden, läßst Oersted zwar in gewisser Hinsicht zweifelhaft, ist aber geneigter die erstere Meinung anzunehmen. Hält man nämlich nach der bisher üblichen Ansicht die Bewegung der Elektricität in dem Leiter für eine fortschreitende, so muſs aus dieser und der Umkreisung um denselben nothwendig die schraubenförmige entstehen, wobei dann die Gründe entwickelt werden, nach denen man die einzelnen Windungen für einander ausnehmend nahe liegend anzunehmen hat; besteht aber der Fortgang der Elektricität aus Pulsationen, wie in der Schall- und Lichtbewegung, so würde man Kreise anzunehmen haben. Daſs die letztere Vorstellungsart unzulässig sey, verdient kaum bemerkt zu werden; denn abgesehen davon, daſs auch in der Schall- und Lichtbewegung allerdings ein Fortschreiten und nicht bloſs eine kreisförmige Wellenschwingung statt findet, so kann man ja eine Entladung, mithin eine eigentliche Ausströmung und Fortführung der Elektricität aus solchen Körpern, worin sie angehäuft ist, nachweisen, wobei das ausnehmend schnelle Durchlaufen der positiven und negativen Elektricität von einem Ende des längsten Leitungsdrahtes zum andern schon daraus unwidersprechlich hervorgeht, daſs sie am entfernten Ende nicht eher wirksam seyn kann, als bis sie dort angekommen ist. Man würde sich aber in einen Widerstreit mit den ausgemachtesten elektrischen Erscheinungen verwickeln, wenn man annehmen wollte, daſs die Elektricität nicht wirklich in den Leiter eindränge, sondern demselben nur gewisse Pulsus zur Fortpflanzung mittheile. Bei dem auſserordentlich schnellen Fortgange der Elektricität in den vollkommenen Leitern muſs man geneigt seyn, die sie nach Oersted umgebenden Schraubenlinien für merklich gestreckt zu halten. Weil dieses aber zu den Erscheinungen nicht paſst, so sollen sie vielmehr den Kreisen unendlich nahe kommen, indem er die fortschreitende Bewegung für verschwindend klein gegen die umkreisende ansieht, was sich freilich durch Beobachtung weder prüfen noch widerlegen läſst, bei der schnellen Fortleitung der Elektricität aber mindestens unvorstellbar wird.

Nimmt man einmal diese Wirbeltheorie an, so folgt das elektromagnetische Hauptphänomen aus derselben sehr leicht. Fig. 123.
Ist nämlich A der Querschnitt eines verticalen elektrischen Leiters, sind B und C zwei Magnetnadeln, so werden ihre Pole beide nach der nämlichen Seite, und zwar wie es die Zeichnung ausdrückt, östlich abweichen, a durch die von Westen kommende negative, b durch die in eben dieser Richtung wirbelnde positive Elektricität. Indem aber alle elektromagnetische Erscheinungen oben auf diesen einen Hauptversuch zurückgeführt sind, so würde es überflüssig seyn, noch weiter zu zeigen, wie Oersted namentlich die durch Ampère gemachte und so hoch angeschlagene Entdeckung, daſs zwei parallele elektrische Leiter bei gleichlaufender Strömung sich anziehen, bei ungleichlaufender aber abstoſsen, ohne Schwierigkeit zu erklären vermag, und daher die von jenem aufgestellte Theorie nur als eine weitere Ausbildung der seinigen anzusehen geneigt ist.

Gegen diese Theorie sind verschiedene Einwendungen gemacht, und man kann bei ihrer genauen Prüfung nicht umhin zu gestehen, daſs sie mit einiger Willkühr erfunden ist, und weder alle Erscheinungen erklärt noch auch damit überhaupt in Einklang zu bringen ist, so gern sonst jeder gerade dieser am liebsten beipflichten würde, theils aus Achtung gegen ihren Erfinder, theils wegen der Einfachheit, womit sie aus dem zuerst aufgefundenen Hauptphänomene abgeleitet ist. Folgende sind die hauptsächlichsten Gründe, welche derselben im Wege stehen.

1. *Die Annahme einer Wirbelbewegung der Elektricität oder des Magnetismus ist an sich willkührlich und durch keine Thatsache hinlänglich begründet, steht vielmehr mit einigen im Widerspruche.* Der Elektricität, als solcher, können zuvörderst keine solche Wirbel zugeschrieben werden, denn was man bei Wasserhosen und Landtromben wahrnimmt, ist secundäre Wirkung der elektrischen Anziehung, und daraus zu erklären, daſs freischwebende Massen durch ungleichen Druck, excentrischen Stoſs, partielle Anziehung u. dgl. eine solche Bewegung nach mechanischen Gesetzen sehr leicht annehmen, wie namentlich durch die Rotationen der Luftballons und der groſsen Massen des Polareises genugsam erwiesen ist. Die Elektricität wirkt nach zahllosen und unzweideutigen Erscheinungen nur in gerader Linie anziehend und abstoſsend, und jeder leichte Körper wird durchaus nur in dieser Richtung einem elek-

trischen Leiter genähert oder von ihm zurückgestoſsen. Die Wirbelbewegung kann daher dem erregten Magnetismus keineswegs durch die Elektricität mitgetheilt werden, sondern sie müſste in ihm selbst zu suchen seyn, zu welcher Annahme aber wieder kein Grund in dem Verhalten desselben bei gemeinen Magneten zu suchen ist, indem diese vielmehr sich wechselseitig gleichfalls in geradliniger Richtung anziehen und abstoſsen. Ueberlegt man aber weiter, daſs die elektromagnetischen Wirkungen eines in die vollkommensten Isolatoren eingeschlossenen Verbindungsdrahtes durchaus unverändert bleiben, so würde hieraus folgen, daſs die magnetischen Wirbel erst *auſserhalb* der isolirenden Zwischenmittel anfangen müſsten, wonach das Willkührliche einer solchen Hypothese noch mehr in die Augen fällt[1].

2. *Die Theorie ist in sich nicht consequent und kaum vorstellbar.* Da die Elektricität die angenommene rotirende Bewegung erweislich nicht hat, so müſste man es als eine individuelle Wirkung derselben ansehen, daſs sie dem Magnetismus diese Umkreisung mittheilte, und hiergegen wäre nichts einzuwenden, wenn man eine solche als durch das Verhalten der Magnetnadel factisch erwiesen ansehen wollte. Ist aber der Leiter in einen vollkommenen elektrischen Isolator eingeschlossen, durch welchen die Elektricität nicht dringt, so ist nicht abzusehen, wie dann, auſserhalb des isolirt abgeschlossenen elektrischen Leiters, noch beide Magnetismen in entgegengesetzter Richtung umkreisen, und stets von einander getrennt die ihnen eigenthümliche Anziehung und Abstoſsung gegen jeden genäherten Pol, nur *nicht gegen sich selbst* ausüben sollten, indem sie im letzteren Falle sich zur Indifferenz neutralisiren müſsten. Hier tritt also der Fall ein, daſs man ihnen eine bekannte wesentliche Wirksamkeit zugleich beilegen und auch absprechen müſste. Unfaſsbar wird aber die Vorstellung solcher Wirbel, wenn man die Geschwindigkeit berücksichtigt, welche die äuſsersten Theile derselben erhalten müſsten. Nach Boeckmann (III. B. 15.) wirkt ein elektrischer Funken aus einer Flasche von mittlerer Gröſse bis auf 4 F. Entfernung noch so stark auf eine Stahlnadel, daſs diese Spuren des erregten Magnetismus zeigt, und nach Seebeck (III. A. 9.) übt der Verbindungsdraht unge-

1 Vergl. Pfaff der Elektromagnetismus u. s. w. S. 216.

wöhnlich starker Elektromotoren bis auf 10 F. noch ablenkende Kraft auf eine Nadel aus. Hiernach müſsten die Wirbel einen Cylinder um den Leitungsdraht bilden, dessen Durchmesser 20 F. betrüge, und wenn dann die bekanntlich groſse Geschwindigkeit der durchströmenden Elektricität verschwindend klein gegen die der Wirbel wäre, wie Oersted deswegen annimmt, damit die schraubenförmigen Bahnen nahe kreisförmig werden, so müſsten die äuſsersten magnetischen Theilchen eine Geschwindigkeit erhalten, welche die des Lichtes um ein Vielfaches übertreffen würde. Strömte aber die Elektricität gar durch Spiralen oder Multiplicatoren, so ist nicht abzusehen, wie diese dicken Wirbelcylinder neben einander ohne gegenseitige Störung bestehen könnten.

Ferner aber zeigt sich in dieser Theorie eine Inconsequenz, welche aus der Annahme einer Identität der Elektricität und des Magnetismus nothwendig entstehen muſste, indem das Bestreben diese zu demonstriren mit dem unbezwinglichen Gefühle ihrer reellen Verschiedenheit in Widerspruch kommt. Oersted gesteht nämlich die Bewegung der Elektricität als solcher im Leitungsdrahte als eine wirkliche Strömung oder als wellenartige Pulsus zu, und in soweit ist sie Elektricität und kein Magnetismus. Zugleich aber erzeugt sie magnetische Wirbel, welche den Leiter umkreisen, aber keine elektrische Wirkungen äuſsern, mithin zum Magnetismus und nicht zur Elektricität gehören. Ist nun die Rede insbesondere von einem in eine isolirende Hülle eingeschlossenen Leiter, so bleibt um so auffallender die Frage unbeantwortet, woher der auſserhalb der Isolirung wirksame Magnetismus komme. Die im Leiter befindliche, der Isolirung unterworfene, Elektricität kann es nicht seyn, da diese sich fortschreitend bewegt und durch ihre zerlegende Kraft auf Alkalien und Säuren, desgleichen durch die Erhitzung der Metalle ihre Natur und Wirksamkeit beurkundet, ohne die magnetischen Wirkungen dadurch aufzuheben, auch kann diese nicht durch die Isolirung dringen, und eine Hauptfrage über den Ursprung des Magnetismus in den Wirbeln bleibt sonach ganz unerörtert.

3. *Endlich erklärt diese Theorie nicht alle Phänomene und steht vielmehr mit einigen im Widerspruche*, so einfach auch die anfängliche Haupterscheinung in derselben dargestellt ist. Jede Bewegung zuvörderst, welche einem magnetischen

Körper durch die umkreisenden Wirbel gegeben werden kann, liegt in gleichem Abstande von der geometrischen Axe des Leitungsdrahtes, und kann sich dieser unmöglich nähern, weit eher von derselben vermöge der Schwungkraft entfernen, mithin ist das Anhängen des Eisenfeilichts an den Verbindungsdraht der Elektromotoren hiermit im Widerspruche. Auch die oben (III. A. 8.) angegebene völlige Umkehrung der Nadel ist aus dieser Theorie nicht erklärlich, sobald man die Wirbel als fast kreisförmig betrachtet, und wollte man zu der schraubenförmigen Bewegung seine Zuflucht nehmen, so müfste es einen vom rechten Winkel wenig abweichenden geben, bei welchem die Tangente an die Richtung des Wirbels mit der Axe der Nadel zusammenfiele, und daher jede Bewegung der letzteren unmöglich würde, was der Erfahrung widerstreitet[1]. Endlich bemerkt Schweigger[2], dafs die Wirbel verschiedener neben einander liegender Leiter einander stören müfsten, indem die zwischen je zwei Drähte fallenden bei gleicher Richtung der elektrischen Strömungen einander begegnen. Oersted könnte dieses Argument allerdings für sich benutzen, indem der magnetische Pol genau in der Mitte zwischen zwei Leitern indifferent wird (III. E. i. A.), allein dann ist unbegreiflich, warum eine spiralförmige Scheibe an der einen Seite blofs nordpolarisch und an der andern südpolarisch wirkt (III. A. 11.), da doch beide Magnetismen jedes Theil des Leitungsdrahtes mit gleicher Stärke umkreisen sollen.

Man sieht bald, dafs Oersted seine Theorie zu frühe aufgestellt habe, ehe noch alle Thatsachen genügend bekannt waren, weswegen sie denn gerade mit den später aufgefundenen unvereinbar ist.

B. Faraday's Princip der kreisförmigen Bewegung.

Faraday[3] hat keine vollständige Theorie des Elektromagnetismus aufgestellt, allein bei seinen vielen, für die Erweiterung dieses Theiles der Naturlehre höchst wichtigen Ver-

1 Vergl. Pfaff der Elektromagnetismus u. s. w. S. 215. Poggendorf bei G. LXVIII. 207.

2 Journ. XXXIII. 123.

3 G. LXXI. 163.

suchen geht er vorzugsweise von dem Grundsatze aus, daſs der magnetische Pol um den galvanischen Leiter oder letzterer um jenen eine kreisförmige Bewegung erhalten müsse (III. C. 6), und seine Ansichten schlieſsen sich daher im Allgemeinen an die eben erörterten an. Ohne inzwischen seine Meinung ausdrücklich zu äuſsern, scheint er doch der Autorität Wollaston's zu folgen, nach welchem ein nach einer Seite um einen Voltaschen Leiter kreisender elektrischer Strom alle Erscheinungen genügend erklärt. Was er übrigens von tangentialen Kräften äuſsert, welche hierbei gleichfalls thätig seyn sollen, und worauf er die Phänomene zurückführen zu wollen scheint, ist dunkel, und da er das Ganze nicht zu einem vollständigen Systeme geordnet hat, so übergehe ich die Sache lieber ganz.

C. Ampère's Theorie.

Ampère, welcher sich vom Anfange der Entdeckung des Elektromagnetismus an um diesen Zweig der Naturlehre bei weitem am meisten verdient gemacht hat, stellte bald nachher eine Theorie auf, unter welche er alle die verschiedenen Phänomene zu vereinigen suchte, und auf welche er die von ihm selbst beobachteten und aufgefundenen Erscheinungen mit anscheinend groſser Consequenz zurückführte. Er selbst hat diese später nur noch wenig ausgebildet; dargestellt ist sie auſserdem aber insbesondere durch Gilbert[1], Babinet[2], Savary[3], Demonferrand[4] und andere. Man erhält eine vollständige Uebersicht derselben aus den zahlreichen Aufsätzen des Erfinders in der bekannten Zeitschrift von Gay-Lüssac und Arago vom 15ten Bande an, oder mit manchen hinzugefügten erläuternden

---

1 In allen aufgenommenen Abhandlungen Ampère's. In seinen Annalen Bd. LXVII. ff. hat Gilbert diese Theorie auf die einzelnen Erscheinungen angewandt.

2 Darstellung der neuesten Entdeckungen über die Elektricität und den Magnetismus u. s. w. durch Ampère u. Babinet, a. d. Fr. Leipz. 1822. 8.

3 Mém. sur l'application du calcul aux phénomènes él. par M. F. Savary. Par. 1823. Vergl. Ann. Ch. et Ph. XXII. 91.

4 Handbuch der dynam. El. u. s. w. insbesondere §. 67 u. 68, 74 ff. Eine mathematische Theorie ist ferner gegeben durch Hansteen in Magazin for Naturvidenskaberne af Lund. 1823. H. 2. p. 274. H. 3. p. 72.

Bemerkungen durch die ganze Reihe dieser Abhandlungen Ampère's, wie sie durch Gilbert in den Annalen wiedergegeben sind, kurz und vollständig in einer kleinen Abhandlung von Ampère[1] selbst, am ausführlichsten und mit einer sehr umfassenden Anwendung auf die meisten bis jetzt bekannten elektromagnetischen und thermomagnetischen Phänomene in der angezeigten Schrift von Demonferrand, aus welcher ich daher die folgende kurze Darstellung entnehme.

Ampère wurde auf die Idee, die Elektricität mit dem Magnetismus für identisch zu halten, anfangs durch die Beobachtung geführt, dafs zwei freischwebende elektrische Verbindungsdrähte bei gleichlaufender Strömung einander anziehen, und bei entgegengesetzter einander abstofsen, mithin sich als wirkliche Magnete zeigen. Eigentlich müfste man hieraus eine Verschiedenheit der Elektricität und des Magnetismus folgern, da gleichartige Elektricitäten sich abstofsen, allein Ampère fafste insbesondere den Umstand auf, dafs die in den Leitern thätigen anziehenden Kräfte einander nicht zur Erzeugung der Indifferenz neutralisiren, welches allerdings mehr mit dem Verhalten der Magnete als elektrischer Conductoren übereinstimmt. Indem aber spiral- oder schraubenförmig gewundene Drähte in ihrem wesentlichen Verhalten sowohl gegen einander, als auch gegen galvanische Verbindungsdrähte und wirkliche Magnete diesen letzteren vollkommen gleichen, so veranlafste dieses Ampère zu der Hypothese, den Magnetismus elektrischen Strömungen zuzuschreiben, welche in senkrecht auf die Axen der Magnete gerichteten Ebenen liegen. Einen Beweis für die Existenz solcher Strömungen findet er in der Beobachtung Coulomb's, dafs abgerissene Stückchen eines Magnetes noch doppelte Polarität zeigen, weswegen man die angenommenen magnetischen Strömungen nicht als die ganze Masse des Magnetes umgebend zu denken habe, sondern vielmehr als um Theilchen kreisend, welche auch nach ihrer Trennung vom Magnetstabe ihre magnetischen Eigenschaften behalten, d. i. um solche, welche kleiner sind, als man sie durch mechanische Theilung erhalten kann.

---

1 Précis de la théorie de phénomènes électro-dynamiques. Par. 1824. Eine andere kleine Abhandlung von nur 32 S. in 8. ist: Exposé méthodique des phénomènes électro-dynamiques et des lois de ces phénomènes; par M. Ampère. Par. 1824.

In der Hauptsache sollen hiernach die krystallinischen Theilchen der Magnete den elektrischen Theilchen des Turmalins gleichen, mit dem Unterschiede, dafs bei ersteren das elektrische Leitungsvermögen hinzukommt, dessen Mangel letzteren hindert, ein Magnet zu werden [1]. Die Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseyns solcher elektrischen Strömungen im Eisen und Stahl soll noch vermehrt seyn durch die Entdeckung des Thermomagnetismus. (Die leicht mögliche Aufhebung des elektrischen Neutralitätszustandes durch die verschiedensten Ursachen kannte man schon vorher, namentlich bei den Nichtleitern, und es müfsten daher entweder diese die besten Magnete seyn, wenn der Magnetismus auf einer Aufhebung des elektrischen Gleichgewichts beruhete, oder alle Leiter müfsten bleibend magnetisch seyn, am meisten Silber, Kupfer und die andern vorzüglich leitenden Metalle, wenn das Leitungsvermögen der Elektricität die Bedingung des Magnetismus wäre.)

Um die Entstehung des Magnetismus durch elektrische Ströme nachzuweisen, geht Demonferrand von den schraubenförmig gewundenen Drähten aus, welche allerdings ganz eigentliche Longitudinalmagnete bilden. Hiernach hat man also eine Reihe Theilchen, welche mit der Axe des Magnetes parallel liegen, so anzusehen, als ob sie durch Vereinigung ihrer elektrischen Ströme einen jenen Schrauben ähnlichen Apparat bildeten, und ein Magnet müfste also aus einer grofsen Menge paralleler, sämmtlich von solchen nach einer Richtung kreisenden elektrischen Strömen umgebener, Cylinder bestehen, welche dann, in einen Stab vereinigt, allerdings einen bipolaren Magnet erzeugen könnten. Dieses zu versinnlichen sey A der Durchschnitt eines cylindrischen Magnetstabes normal auf seine Axe, jedes einzelne Cylinderchen a, a, a..., im gleichen Durchschnitte gezeichnet, stellt ein Element desselben vor, wobei die Pfeile die entgegengesetzten Strömungen der Elektricität an- Fig. 124.

1 Obgleich es zweckwidrig seyn würde, hier alle Argumente kritisch zu prüfen, so mufs es dem nachdenkenden Leser doch auffallen, dafs aus diesem an die Spitze gestellten gerade das Gegentheil folgt. Das angegebene Verhalten der Magnete ist nämlich ganz richtig, und im Wesen derselben gegründet; wenn man dagegen elektrisirte Körper trennt, so wird jedes Theilchen nur *eine* Elektricität zeigen, und nicht wie das magnetische beide Magnetismen. Pulverisirter Schwefel z. B. ist durchaus negativ u. s. w.

deuten, und der nämliche Effect, welcher durch diese letzteren rücksichtlich der Erzeugung eines aus Draht gewundenen Magnetes statt findet, muſs sich also auch bei einem Stahlmagnete zeigen, indem die gesammten Wirkungen im ganzen Kreise $\alpha\beta\gamma$ vereinigt sind. Werden dann die schraubenförmigen Magnete mit den gemeinen rücksichtlich ihrer Lage nach den Weltgegenden und der Richtung der elektrischen Strömungen verglichen, so gleichen die letzteren rücksichtlich dieser ihrer Polarität solchen der ersteren, bei denen die elektrischen Ströme von W. durch das Zenith nach O. und durch den Nadir rück-
Fig. 125. wärts nach W. gelangen. Hiernach müssen also in einem gemeinen Magnete die elektrischen Strömungen oben eine Richtung von W. nach O, unten die entgegengesetzte von O. nach W. haben. Berücksichtigt man aber weiter, daſs der tellurische Magnetismus der entgegengesetzte des im künstlichen Stahlmagnete vorhandenen seyn muſs, so folgt hieraus nach Ampère, daſs die durch den Lauf der Sonne aufgeregte Elektricität in der Richtung von O. nach W. oberhalb, und von W. rückwärts nach O. unterhalb die Erde zu einem im astronomischen Norden südpolaren Magnete machen müsse. Auf diese im elektrischen Leiter angenommenen entgegengesetzten Strömungen hat Ampère die gesammten elektromagnetischen Erscheinungen zurückgeführt, sie liegen bei den mit groſsem Scharfsinn von ihm aufgestellten Formeln zum Grunde. Indeſs ergiebt eine nähere Prüfung bald, daſs hierbei eigentlich die jedem Elemente des elektrischen Leiters allerdings zukommenden bipolar magnetischen Anziehungen und Abstoſsungen construirt werden, denen Ampère die elektrischen Strömungen ohne genügenden Beweis unterschiebt.

So sinnreich nämlich diese Darstellung auch ausgedacht ist, und so sehr sie sich insbesondere durch die letzteren Anwendungen empfiehlt, indem sie bedeutende Aufschlüsse über die Entstehung des tellurischen Magnetismus giebt, und noch bedeutendere selbst hinsichtlich der Rotationen der Erde verspricht [1],

---

1 Mehrere Physiker, ich selbst schon 1822, Herapath 1824 und Sturgeon bald nachher haben die Idee geäuſsert, daſs sich die Rotation und der Umlauf der Planeten um die Sonne vielleicht auf ihren elektromagnetischen Zustand zurückführen lasse. S. Phil. Mag. N. LXV. 179. Indeſs ist die Sache zu sehr hypothetisch.

so zeigt sie doch bei näherer Prüfung auffallende Schwächen, und kann deswegen nicht unbedingt als Grundlage einer Theorie angenommen werden. Es läfst sich zwar im hohen Grade wahrscheinlich machen, dafs der tellurische Magnetismus das Resultat des Thermomagnetismus ist, welcher als elektrischer Zustand, durch den Impuls der Sonnenstrahlen erzeugt, sowohl die Polarität überhaupt, als auch die täglichen und jährlichen Variationen der Magnetnadel bedingend gedacht werden könnte. Man dürfte ferner ohne den Vorwurf allzukühner Hypothesen, annehmen, dafs die Erde vermöge ihrer Gröfse auf gleiche Weise eine so starke magnetische Kraft durch die ungleiche Erwärmung in Vergleichung mit kleineren Thermomagneten zeige, als ein auffallender Unterschied zwischen der Elektricität im Gewitter, und der kaum merkbaren bei der Bildung und Zersetzung des Wasserdampfes entstehenden statt findet. Wie unzulässig es dagegen sey, den *Magnetismus im Stahle* von solchen elektrischen Strömungen abzuleiten, dieses mufs auch ohne Rücksicht auf den Umstand, dafs die elektrischen Ströme in dem aus schraubenförmig gewundenen Drahte bestehenden elektrischen Magnete die im Stahlmagnete fehlende Isolirung nothwendig fordern, insbesondere auch daraus hervorgehen, dafs jeder Magnet, wie grofs oder klein und von welcher Gestalt er auch seyn mag, in jeder Lage und Richtung seiner magnetischen Axe im Strome der galvanischen Elektricität zum Leiter der letzteren, mit dem einem solchen allgemein zukommenden Magnetismus, wird, wodurch also der Unterschied beider Arten von Magnetisirung in ein und demselben Exemplare gegeben ist. Wenn aber die Richtung der elektrischen Strömungen den Magnetismus im Stahlmagnete erzeugte und bedingte, wie im elektrischen Leiter, so müfste bei der Unveränderlichkeit jener Strömungen der Nordpol des gemeinen Magnetes stets nach Norden gerichtet seyn, wenn man denselben auch durch einen ganzen Kreis im Azimuthe herumdrehete. Die Nichtleitung des Magnetismus im Stahle hebt dieses Argument nicht auf, wie aus dem eben Gesagten folgt, wenn man nicht einen Unterschied zwischen den natürlichen und den künstlich galvanischen elektrischen Strömungen einführen, und damit die ganze Theorie wieder aufheben will.

Eine Hauptstütze für seine Theorie findet Ampère darin, dafs sich die verschiedenen Formen, in denen sich ein gemei-

ner Magnet als bloſser Stab, als Inclinationsnadel, Declinationsnadel und sogar als astatische Nadel zeigt, durch den galvanischen Leitungsdraht gleichfalls darstellen lassen. Dieses hat allerdings etwas überraschendes, und die Bemühung, alle diese verschiedenen Formen künstlich darzustellen, veranlaſste die Erfindung der verschiedenen interessanten Apparate, welche gröſstentheils oben beschrieben sind. Genau genommen besagt dieses indeſs nichts anders als die ohnehin anerkannte, allerdings höchst wichtige Thatsache, daſs im elektrischen Leitungsdrahte ganz eigentlicher Magnetismus hervorgerufen werde, und man also durch zweckmäſsige Benutzung seiner Polaritäten die Stahlmagnete künstlich nachzubilden vermöge. Eben hiernach muſs sich indeſs dem unbefangenen Forscher nothwendig die Bemerkung aufdringen, daſs es beim gemeinen Magnete der elektrischen Strömungen nicht bedarf, um den Magnetismus hervorzurufen, welcher vielmehr bleibend in demselben enthalten ist, und daſs diesemnach zwar in beiden die nämliche Potenz wirksam ist, jedoch durch ganz verschiedene Bedingungen in ihnen hervorgerufen wird, und sich auf zwei nicht ganz unwesentlich abweichende Arten äuſsert.

Daſs ein von einem kräftigen galvanischen Strome durchströmter Leiter Eisenfeilicht anzieht, ist allerdings schwierig zu erklären, wenn man berücksichtigt, daſs eben derselbe den Pol einer Nadel nicht sowohl anzieht oder zurückstöſst, sondern zum Umkreisen sollicitirt. Ampère erklärt indeſs dieses Phänomen in Gemäſsheit seiner Theorie und insbesondere mit Rücksicht auf den oben (F) angeführten Versuch, wonach ein elektrischer Strom in einem mit ihm parallelen Leiter gleichfalls den Magnetismus hervorruft, auf folgende Weise. Er nimmt an, daſs entweder in jedem Eisentheilchen die elektrischen Strömungen schon präexistiren, oder nach allen Seiten gerichtet sind, und sich daher neutralisiren, bis sie durch die elektrischen Strömungen eines andern Magnetes erst eine bestimmte Richtung erhalten; oder daſs keine in demselben vorhanden sind, sondern durch einen genäherten Magnet erst hervorgerufen werden. Welche von diesen beiden Ansichten die richtige sey, darüber wagt er bei unserer Unkenntniſs vom eigentlichen Wesen der Elektricität nicht zu entscheiden. Hierbei dringt sich indeſs abermals die Frage auf, warum die in einem Magnete vorhandenen elektrischen Ströme nicht ganz gleiche elektrische

Wirkungen hervorbringen, als die in einem galvanischen Leiter; warum ferner der Magnetismus im Eisen nicht auf gleiche Weise bleibend erhalten wird als im Stahle, da doch beide rücksichtlich der elektrischen Leitungsfähigkeit nicht von einander abweichen, und warum endlich die den Magnetismus im Stahle erzeugenden Strömungen nicht auch eine gleiche Wirkung in andern Metallen (aufser Nickel und Kobalt) hervorrufen, da doch der Stahl rücksichtlich seiner elektrischen Leitungsfähigkeit weder zu den besten noch den schlechtesten elektrischen Leitern gehört[1].

Es ist bei der Darlegung dieser Theorie schon beiläufig auf die darin herrschende Willkühr und den Mangel an innerer Consequenz hingedeutet[2], welche Fehler indefs hauptsächlich aus der Voraussetzung der Identität der Elektricität und des Magnetismus hervorgehen. Eine weitere willkührliche Annahme, nicht aus dem Wesen der Sache hergenommen und nicht wieder bis dahin verfolgt, liegt gleich in der Einleitung zu dieser Theorie der Voraussetzung zum Grunde, nach welcher Ampère, in Uebereinstimmung mit Oersted, zweierlei Wirkungsformen der Elektricität annimmt, nämlich die mit Spannung versehenen, durch Stofs und Druck sich äufsernden, und die in freien Strömungen bestehenden, in den chemischen, erwärmenden und magnetischen Phänomenen sich zeigenden. Allein dafs diese, von einigen wenigen Naturerscheinungen hergenommene Ansicht auf andere nicht passe, fällt dem unbefangenen Forscher sogleich in die Augen. Unter andern zeigt sich nämlich die Elektricität nicht wohl in stärkerer Spannung, als beim Blitzstrahle, und dennoch bringt dieser nicht blofs dicke Stangen zum Glühen, sondern erzeugt auch im Stahl bleibenden und starken Magnetismus. Dafs ein Unterschied in den Wirkungsarten der Reibungselektricität und der Volta'schen statt finde, ist zwar keinen Augenblick zu bezweifeln, allein allgemein und scharf begrenzt ohne Rücksicht auf die verschiedene Stärke und anderweitige Modificationen kann man denselben nicht nennen.

---

1 Vergl. G. G. Schmidt bei G. LXXIV. 262.

2 Dieses findet insbesondere auch Biot, dafs namentlich stets eine neue Hypothese zur Unterstützung der schon aufgestellten gesucht werden mufs, weswegen er geneigter ist, die Erscheinungen am elektrischen Leiter als rein magnetisch zu betrachten. S. Précis élém. de Phy. II. 772. Vergl. Journ. des Savans. 1821. Avril.

Aufserdem läfst sich noch ein Mangel innerer Consequenz bei dieser Theorie nachweisen. Ampère hat nämlich die Erfahrung dabei zum Grunde gelegt, dafs ein schraubenförmig gewundener Draht einen bipolaren Magnet darstellt. Diese Aehnlichkeit ist richtig, indefs folgt die Art der Wirksamkeit solcher schraubenförmig gewundenen Drähte aus der anfänglichen Beobachtung Oersted's, wie oben nachgewiesen ist, statt dafs nach Ampère eigentlich dieses letztere Phänomen aus jenem erklärt werden müfste. Allein hiervon abgesehen geht dieser Gelehrte von solchen schraubenförmig gewundenen Drähten, die einen mefsbaren Durchmesser haben, in seinen Schlüssen über die Wirkungen der natürlichen Magnete zu solchen über, welche kleiner sind, als unsere Messungen umfassen, und von denen es daher fraglich ist, ob sie dann noch als solche Spiralen, oder als massive Stahltheilchen, und nicht um einen, wenn auch noch so kleinen Raum gewundene Schraubenwindungen anzusehen sind. Die Willkühr in dieser unbewiesenen Voraussetzung mufs so viel mehr auffallen, wenn man berücksichtigt, dafs in der Länge des Stahlmagnetes diese hypothetischen Windungen ohne Unterbrechung von einem Ende zum andern in vollkommener Leitung vorhanden seyn müssen, indem eine Unterbrechung die Wirksamkeit aufheben würde; nach der Dicke des Stahlmagnets soll dagegen eine Isolirung der einzelnen Schraubenwindungen statt finden, ohne welche sie in einander fallen, und sich aufheben müfsten. Da man aber aus einem Längenmagnete einen Transversalmagnet machen kann und umgekehrt, so müfste ja nach der Willkühr des Operirenden in einem Stahlstücke die elektrische Leitung nach jeder Seite hin hervorgebracht und aufgehoben werden können. Ampère hat, um einigen Einwendungen zu begegnen, erst später diese einzelnen verschwindend kleinen, durch ihre Gesammtwirkung einen Stahlmagnet bildenden, Schraubenwindungen in seine Theorie aufgenommen[1].

Dasjenige, was mir selbst und gewifs auch vielen andern die genauere Kenntnifs und Uebersicht der Ampère'schen Theorie ausnehmend erschwert hat, ist der Umstand, dafs ihr berühmter Erfinder das ursprüngliche Hauptfactum, nämlich die eigenthümliche magnetische Wirkungsart des einfachen elek-

1 G. LXXII. 257.

trischen Leiters auf die Magnetnadel eigentlich ganz unerklärt läſst, während er mit vielem Scharfsinn die Entstehung eines Stahlmagnetes aus elektromagnetischen gewundenen Leitern ableitet, und den gegenseitigen Einfluſs beider auf einander unter den mannigfaltigsten Modificationen mit bewundernswerther Kunst entwickelt. Auch seine mit groſser Gewandtheit im Calcül und Anwendung der scharfsinnigsten Combinationen durchgeführte geometrische Construction der gesammten elektromagnetischen Erscheinungen legt die gegenseitige Einwirkung zweier elektrischer Ströme auf einander zum Grunde, und übergeht somit die Wirkung des einfachen Leiters auf die Magnetnadel, welche Ampère übrigens als Thatsache mitzutheilen keineswegs verabsäumt. Wenn man aber in der aufgestellten Theorie rückwärts von einem Magnete zu einem einfachen galvanischen Leitungsdrahte übergeht, so kann man in demselben nur einen bipolaren Transversalmagnet finden, welcher indeſs die Phänomene nicht erklärt; oder man muſs zu den Wirbeln nach Oersted seine Zuflucht nehmen, wie denn auch dieser Physiker die Ampère'sche Theorie nur als eine Erweiterung seiner eigenen betrachtet, wonach aber die Erklärung der gemeinen Magnete aus den elektromagnetischen Strömungen sich in ein noch weit mehr unauflösliches Gewirre verlieren würde, als dieses schon bei den aus schraubenförmig gewundenen Drähten bestehenden Cylindern und den Multiplicatoren der Fall ist[1].

Verschiedene Physiker haben Ampère's Theorie dadurch zu widerlegen gesucht, daſs sie einen Widerspruch derselben mit den Erscheinungen aufgefunden zu haben glaubten. Allein Ampère ist allen diesen Einwürfen begegnet, und hat bei den meisten nachgewiesen, daſs die ihm entgegengestellten Phänomene vielmehr aus seiner Theorie nothwendig folgten, welches übrigens nicht schwer seyn kann, wenn man einmal die Prämisse zugesteht, daſs ein elektrischer Strom seinen Leiter an der einen Seite nordpolar, an der andern südpolar magnetisch macht, hierbei die obere Seite der unteren, die rechte der linken entgegengesetzt, und hieraus ein Umlaufen der Pole um den ganzen Umfang des Leiters erzeugt werden läſst, aus welchem letzteren Gesetze alle elektromagnetischen Erscheinungen in ihren vielfachen Modificationen oben abgeleitet sind. Der

1 Vergl. Pfaff der Elektromagnetismus u. s. w. S. 246.

Kürze wegen wird es daher am besten seyn, die bereits erledigten Einwürfe nur namhaft zu machen, bei denjenigen aber etwas länger zu verweilen, welche mir von gröfserer Bedeutung zu seyn scheinen.

Unter die erstere Classe gehören hauptsächlich folgende. 1. Von Althaus[1] zeigte, dafs die Anziehung von zwei Drahten bei gleichlaufender elektrischer Strömung aus der Theorie eines doppelt bipolaren Transversalmagnetismus weit leichter und consequenter, als nach Ampère erklärt werden könne; allein dieser Einwurf war zunächst nur gegen die anfänglich versuchte Ableitung dieser Erscheinung aus elektrischen Strömungen, als solche, gerichtet. 2. De la Rive[2] und, wie es scheint mit ihm übereinstimmend, Faraday[3] glaubten, dafs die Erscheinungen, welche der von ersterem angegebene schwimmende elektromagnetische Apparat darbietet, aus Ampère's Theorie nicht wohl erklärlich sey, wovon aber das Gegentheil schon ausführlich gezeigt ist[4]. 3. Einige Verschiedenheiten, welche Faraday[5] zwischen einem Stahlmagnete und einem aus schraubenförmig gewundenem Drahte bestehenden auffindet, sind nach dem Urtheile dieses Physikers selbst nicht sehr bedeutend, indem übrigens die Aehnlichkeit noch viel zu grofs ist, als dafs sich hieraus ein entscheidendes Argument gegen die Zulässigkeit der Theorie hernehmen liefse. 4. Endlich verdient ein Einwurf, welchen de la Rive[6] aus dem Verhalten eines in einer horizontalen Ebene beweglichen horizontalen Leiters mit zwei herabhängenden Armen hernimmt, nur deswegen kurz erwähnt zu werden, um nicht übersehen zu scheinen. Uebrigens aber sind alle Bewegungen solcher elektromagnetischer Drähte so vielfach untersucht, wie auch die mitgetheilte Beschreibung derselben darthut, dafs hieraus kein Gegenbeweis hergenommen werden kann, und aufserdem stimmt das von de la Rive beobachtete Verhalten genau mit den übrigen Phänomenen solcher Leiter überein.

---

1 Versuche über den Elektromagnetismus u. s. w. S. 21 ff.

2 G. LXXI. 113.

3 Ebend. S. 149.

4 Demonferrand a. a. O. §. 50.

5 G. LXXI. 164.

6 G. LXXII. 130. Vergl. Gilbert ebend. S. 221.

Unter die zweite Classe, nämlich die noch nicht vollständig beseitigten Einwürfe scheinen mir folgende zu gehören.

1. Im Ganzen ist Oersted's Argument[1], mindestens von einer Seite betrachtet, noch keineswegs genügend beseitigt. Wenn man nämlich zwei Magnetnadeln als durch elektrische Ströme magnetisch seyend betrachtet, so würde aus dem oft von Ampère aufgestellten Satze, daſs Ströme von gleicher Richtung einander anziehen[2], nothwendig folgen, daſs sie sich mit ihren gleichnamigen Polen an einander legen müſsten, wovon indeſs die Erfahrung gerade das Gegentheil darthut. Ampère sucht diesen Einwurf dadurch zu beseitigen, daſs er zu den von allen Seiten her gerichteten Strömungen in einem Stahlmagnete seine Zuflucht nimmt, woraus dann die Abstoſsung ihrer gleichnamigen Pole erklärlich werden soll; allein wenn man streng bei der Sache bleibt, so läſst sich eben so wenig die gleiche Richtung der elektrischen Ströme in Magnetnadeln nach Ampère's Theorie zurückweisen, als das Factum der demnach statt findenden Abstoſsung leugnen. Das Verhalten beider Potenzen, sowohl der Elektricität als auch des Magnetismus, spricht auſserdem ganz entscheidend für Oersted; denn man nähere einem + elektrischen oder magnetischen Pole so viele andere gleichnamige, als man will und in allen denkbaren Richtungen, so wird allezeit Abstoſsung und nirgends Anziehung sichtbar werden. Wirklich zeigt sich in dieser Hinsicht auch selbst ein elektromagnetischer schraubenförmig gewundener Draht mit einem Stahlmagnete völlig übereinstimmend. Hierbei tritt aber eben die oben schon bemerkte Schwäche der Ampère'schen Theorie und die Unzulässigkeit der Hypothese von der Identität der Elektricität und des Magnetismus sichtbar hervor. Wenn es nämlich darin heiſst: *„zwei elektrische Ströme von gleicher Richtung ziehen einander an,“* so ist dieses falsch, und müſste vielmehr heiſsen: *zwei von der Elektricität in gleicher Richtung durchströmte Drähte ziehen sich vermöge des in ihnen erzeugten Magnetismus an.* Denn wirklich stoſsen sich hierbei die gleichartigen Elektricitäten ab, allein viel zu schwach, als daſs dieses merklich seyn sollte; die Magnetismen ziehen sich

1 Schweigg. J. XXXII. 222.

2 Biot Préc. élém. de Phy. II. 772 nennt diese Hypothese allen bekannten Erscheinungen widersprechend.

dagegen an, weil die Leitungsdrähte nicht in einander, ihre Magnetismen daher nicht zusammenfallen können, wie die un den ganzen Leiter überall gleichartigen Elektricitäten. Hinsichtlich des Magnetismus derselben ist aber oben und unten, rechts und links einander entgegengesetzt, und so müssen bei gleichartiger und gleichgerichteter elektrischer Strömung zwar gleiche Elektricitäten, zugleich aber entgegengesetzte Magnetismen zusammenfallen, welche letztere allein und im Widerstreite mit den elektrischen Wirkungen einander anziehen.

2. Je mehr Mühe Ampère aufgewandt hat, die Identität eines aus schraubenförmigen Windungen bestehenden, und eines stählernen Magnetes durch die Annahme gleichgerichteter elektrischer Strömungen darzuthun, um so viel schwerer wird es ihm werden, einem zweiten Einwurfe zu begegnen. Ein schraubenförmig gewundener Drahtcylinder kann nämlich eine Stahlnadel nur dann magnetisch machen, wenn beider Längenaxen zusammenfallen. Soll nun ein Stahlmagnet seinen Magnetismus gleichen elektrischen Strömungen verdanken, so kann gar kein oder bloſs ein transversaler Magnetismus in einem Stahlstabe erzeugt werden; wenn man ihn mit einem andern Magnete so streicht, daſs ihre beiden Axen normal auf einander gerichtet bleiben; es entsteht aber statt dessen ein Longitudinalmagnet[1].

3. Ein sehr gewichtiges, und, wie mir scheint, gar nicht zu beseitigendes Argument geht aus den interessanten Versuchen hervor, welche G. G. Schmidt bekannt gemacht hat[2]. Auf welche Weise durch einen elektrischen Leiter in Stahlnadeln, welche quer unter oder über demselben liegen, bleibender Magnetismus hervorgerufen wird, ist oben (III. B. 4 ff.) angegeben. Hiernach klebe man einen 2''' bis 3''' breiten Streifen Blattgold auf eine Glasplatte, lege quer darüber ein Stück Uhrfeder 1 bis 1,5 Z. lang, nachdem man dasselbe vorher mit Lackfirniſs überzogen hat, über diese wieder eine Glasplatte und auf diese einen Magnetstab so, daſs er mit seinem Nordpole das nördliche Ende der Uhrfeder decke, wodurch der Südpol so weit entfernt wird, daſs seine Wirkung nicht in Betrachtung kommt. Es habe dann gröſserer Deutlichkeit wegen der

1 Pfaff: der Elektromagnetismus. u. s. w. S. 242.
2 G. LXXIV. 263.

Blattgoldstreifen und die ihn durchströmende Elektricität die Richtung von O. nach W. In diesem Falle muſs ohne den Einfluſs des Stahlmagnetes das nördlich gerichtete Ende der Uhrfeder gleichfalls nordpolarisch werden. In dem Stahlmagnete sind aber nach Ampère die elektrischen Strömungen unten gleichfalls von Osten nach Westen gerichtet, die Uhrfeder liegt also zwischen zwei von O. nach W. gerichteten elektrischen Strömen, und müſste um so mehr am nördlichen Ende nordpolarisch werden, wird aber statt dessen *südpolarisch*. Legt man unter übrigens ganz gleichen Bedingungen den Südpol über die Uhrfeder, so wird das nördliche Ende stärker nordpolarisch, und man kann nicht umhin zu gestehen, daſs beide Resultate mit den Ampère'schen Wirbeln im Widerspruche stehen[1]. Die Erscheinung selbst wird übrigens durch G. G. Schmidt eben so einfach als genügend dadurch erklärt, daſs sowohl der elektrische Strom als auch der Stahlmagnet den Magnetismus im Stahle aufregen, und daſs hierbei die entstehende Polarität durch die Summe dieser gleichen oder entgegengesetzten Kräfte bedingt wird, wonach sie also sowohl positiv als auch negativ oder = 0 seyn kann[2].

D. Theorieen vom Transversalmagnetismus.

Eine groſse Anzahl von Physikern sehen in dem Leitungsdrahte der Elektricität nichts anders als einen *Transversalmagnet* mit der Axe parallel laufenden nördlichen und südlichen magnetischen Polaritäten. Wirklich kündigt sich derselbe sowohl in dieser seiner einfachen Gestalt, als insbesondere in seinen schraubenförmigen Windungen durch die alsdann zu beiden Seiten hervortretende entschiedene nördliche und südliche Polarität so deutlich als einen solchen an, daſs diese einfachste unter allen Erklärungsarten viele Anhänger finden muſste, um so mehr, als sie in der Bipolarität aller bekannten magnetischen Erscheinun-

---

1 Es scheint mir aus diesem Versuche, wie aus verschiedenen andern hervorzugehen, daſs die gröſste magnetische Kraft sich an den Enden der Stahlmagnete befinde, welches Faraday bei G. LXXI. 124 aus ungenügenden Gründen bezweifelt.

2 Verschiedene andere Einwendungen, obwohl nicht unbedeutende, übergehe ich der Kürze wegen; z. B. Leop. Nobili in Questioni sul Magnetismo. Modena 1824. Vorzüglich Qu. 5.

gen eine bedeutende Unterstützung hat. Jeder Querschnitt des elektrischen Leiters bildet sonach eine Fläche, in welcher um den Mittelpunct des elektrischen Stromes die entgegengesetzten magnetischen Pole liegen, deren Zahl von den Anhängern dieser Ansicht sehr verschieden angegeben wird. Alle diese mannigfaltig modificirten Theorieen haben mit Oersted und Faraday den Vorzug gemein, daſs sie von dem ersten Fundamentalversuche bei ihren Erklärungen ausgehen, und sie lassen sich bei allen Abweichungen von einander zur leichteren Uebersicht doch deswegen füglich zusammennehmen, weil sie mindestens in *einem* wesentlichen Puncte mit einander übereinkommen. Ueber das eigentliche Wesen der Elektricität und des Magnetismus und die Erzeugung des letzteren durch erstere erklären sie sich nicht weiter, als daſs sie beide für verschiedene Potenzen halten, und die dargebotenen Erscheinungen selbst als gegebene Thatsachen ansehen. G. G. Schmidt äuſsert sich hierüber am bestimmtesten, indem er sagt[1]: „daſs der elektrische Strom immer transversalmagnetisch erregend wirkt, und zwar in Beziehung auf seine Richtung nach derselben Seite immer dieselbe Polarität erzeugend, das kann nicht weiter erklärt werden, wie so vieles andere in der Physik. Es ist Thatsache.“ Etwas über die Sache selbst entscheidend drückt sich Seebeck[2] aus, wenn er annimmt, daſs *nicht die Elektricität an sich*, nicht *das Heraustreten derselben aus ihrem Indifferenzzustande* oder die Trennung des + und — den Magnetismus hervorrufe, sondern die *hierdurch bewirkte Veränderung im Innern der Körper.* Könnte durch die bloſse Ausgleichung von + und — E. Magnetismus erregt werden, so würden auch diejenigen Leiter derselben sich magnetisch zeigen, durch welche sie still hinströmt, welches nicht der Fall ist, und es kann daher diese Wirkung nur dann statt finden, wenn die Metalle auf eine solche Weise verändert werden, daſs sich Erwärmung, Schmelzung u. dgl. offenbaren. Daſs in den Metallen, wenn die Reibungs-Elektricität auch in geraumer Zeitdauer und bedeutender Stärke durch Spitzen in sie ein- und ausströmt, kein Magnetismus erregt wird, spricht allerdings sehr für diese Ansicht; wenn man aber berücksichtigt, daſs selbst die langsamen und schwachen

1 G. LXXIV. 265.
2 Berlin. Denksch. a. a. O. S. 334.

Strömungen durch Säuren und Laugensalze bedeutende Abweichungen der Magnetnadel hervorbringen, so wird auch dieser Punct wieder zweifelhaft, und wir müssen also zu dem Bekenntnisse zurückkommen, dafs wir die eigenthümliche Art der Erregung des Magnetismus durch die Elektricität noch nicht zu erklären wissen.

Es scheint auf den ersten Anblick, als wenn alle einen Transversalmagnetismus annehmende Theorieen an dem einfachen Phänomene scheitern müfsten, dafs die Spitze der Nadel vom elektrischen Leiter an einzelnen Stellen nicht sowohl angezogen und abgestofsen wird, als vielmehr unter, über und neben demselben oscillirt. Am scheinbarsten ist dieses Argument, wenn eine feine, an einem Seidenfaden dicht über dem elektrischen Leiter schwebende, Nadel beim Schliefsen der Kette durchaus keine Neigung zeigt, abgestofsen oder angezogen zu werden, sondern mit grofser Energie östlich oder westlich abweicht, und nicht selten in einem ganzen Kreise herumgeschleudert wird. Es scheint mir daher ein nicht ganz unbedeutender Beitrag zur Lehre vom Elektromagnetismus zu seyn, dafs ich selbst zuerst durch einen Versuch das zur Erklärung dieser Erscheinung erforderliche Gesetz aufgefunden, später aber, durch eine freundschaftliche Belehrung von G. G. Schmidt erinnert, dasselbe aus dem bekannten Verhalten des Magnetismus abgeleitet und bewiesen habe[1]. Dieses etwas paradox klingende Gesetz heifst: *Der Pol einer Magnetnadel wird von zwei combinirten, unter sich freundschaftlichen, magnetischen Polen weder angezogen noch abgestofsen, sondern durch die vereinte Wirkung derselben nach der Seite der verlängerten Richtung des feindlichen Poles hingezogen, vor diesem und dem freundschaftlichen Pole vorübergeführt und vor letzterem hin fortgestofsen.* Dafs dieses Gesetz aus dem bekannten der Anziehung und Abstofsung ungleichnamiger und gleichnamiger magnetischer Pole mit einer dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionalen Kraft nothwendig folge, ersieht man bald, wenn man nur die Linien b a, c a, in welchen die magnetischen Kräfte abstofsend und anziehend auf den Pól a wirken, in ihre Componirenden zerlegt, wobei man bald überzeugt wird, dafs der positive Pol a nothwendig nach d getrieben werden mufs. Fig. 126.

1 G. LXXI. 411. Vergl. LXX. 161.

Noch deutlicher ergiebt sich die Nothwendigkeit dieses Erfolges, wenn man die gleichzeitige Wirkung der andern beiden Pole der combinirten Magnete auf den genäherten Pol und die vereinte aller vier Pole auch auf das entgegengesetzte Ende der Nadel mit berücksichtigt; eine genaue Berechnung erhebt aber den aufgestellten Satz über allen Zweifel, indeſs lasse ich diese hier weg, da sie an sich leicht zu finden ist, und ich überhaupt keinen Calcül in diese Untersuchung aufnehmen mag, deren Gegenstand mir noch zu neu scheint, als daſs das Nothwendige von dem minder Nöthigen schon hinlänglich geschieden wäre. Die Berechnung ergiebt dann ferner, bis zu welcher Entfernung von den combinirten Polen mit Rücksicht auf ihren Abstand und ihre eigene Ausdehnung das Gesetz noch gültig ist, indem es bei zu gröſser Annäherung keine Anwendung mehr finden kann, wie in der erwähnten Abhandlung ausführlich gezeigt ist[1].

Nach dieser allgemeinen Betrachtung, welche einen, gegen jede auf den Transversalmagnetismus gebauete Theorie sogleich sich aufdringenden, Einwurf ein für allemal beseitigt, will ich dieselben einzeln kurz darzustellen mich bemühen, und dabei bloſs die allein erforderliche Hauptfrage berüchsichtigen, ob und in wie fern sie das elektromagnetische Hauptphänomen, nämlich das Umlaufen des magnetischen Poles um den elektrischen Leiter vollständig erklären, indem jede Theorie allen Forderungen Genüge leistet, wenn man dieses vollständig von ihr nachweisen kann.

1. Schmidt's Theorie vom bipolaren Transversalmagnetismus.

Nach G. G. Schmidt ist der elektrische Leitungsdraht nichts anders, als ein einfacher Transversalmagnet, welcher an seinen beiden Seiten in seiner ganzen Länge an der einen nordpolarischen, an der andern südpolarischen Magnetismus zeigt. Ein

---

1 Die Nichtbeachtung dieser, von mir erst später angegebenen Bedingung, so wie das Erforderniſs, daſs die Pole der gebrauchten Magnete, mindestens sehr nahe, gleich stark seyn müssen, hat veranlaſst, daſs einige Physiker beim Versuche nicht ganz die erwarteten Resultate erhalten haben. Vergl. Kries bei G. LXXI. 58. Pfaff der ..ktrom. S. 270.

solcher mufs demnach in Folge des eben erläuterten Gesetzes eine östliche und westliche Declination der Magnetnadel hervorbringen, wenn er über der Declinationsnadel, beider Axen parallel laufend, gehalten, und dann um 180° um seine Axe gedrehet wird. Von unten auf gleiche Weise genähert und umgedrehet zeigt er die nämlichen Wirkungen. Auffallend ist allerdings die Uebereinstimmung des Verhaltens eines künstlichen Transversalmagnetes mit dem des elektrischen Leiters. Verfertigt man jenen so, wie oben (III. B. 7.) angegeben ist, so erhält man einen Apparat, welcher nach meinen eigenen Erfahrungen Jahre lang die östliche und westliche Abweichung der Magnetnadel deutlich bewirkt, wenn man ihn auf die angegebene Weise über und unter dieselbe hält, und die Aehnlichkeit seiner Wirkungen mit denen eines Leiters der galvanischen Elektricität rücksichtlich dieser beiden Erscheinungen ist so sprechend, dafs man im Augenblicke der Beobachtung kaum umhin kann, dieser Theorie anzuhängen. Noch mehr aber: G. G. Schmidt umwickelte einen Streifen dünnen Messingblechs, etwa 1 F. lang und 2 Lin. breit, mit Stahldraht, machte diesen auf die angegebene Weise zu einem Transversalmagnete, wickelte ihn dann um einen hohlen Cylinder von dickem Kartenpapier schraubenförmig, und erhielt hierdurch einen dem schraubenförmig gewundenen elektrischen Leiter vollkommen nachgebildeten bipolaren Magnet. Auf gleiche Weise bildete er mit demselben die elektromagnetische Spiralscheibe nach[1].

Die hier in ihren wesentlichsten Elementen mitgetheilte Theorie empfiehlt sich ausnehmend durch ihre grofse Einfachheit und innere Uebereinstimmung mit anderweitigen Naturerscheinungen. Ueberall, wo der Magnetismus sonst hervortritt, zeigt sich derselbe bipolar, und man dürfte daher nur annehmen, dafs die Elektricität den Leitungsdraht derselben auf eine gleiche Weise temporär magnetisch machte, als sie dem Stahle unter geeigneten Umständen bleibenden Magnetismus mittheilt, um die ganze Reihe der elektromagnetischen Erscheinungen den bekannten magnetischen anzufügen. Leider aber reicht die Hypothese nicht hin, um das elektromagnetische Hauptphänomen vollständig zu erklären. Man hat gegen dieselbe eingewandt, dafs am elektrischen Leitungsdrahte keine Indifferenz-

1 G. LXX. 229. LXXI. 387. LXXII. 1.

linien anzutreffen seyen, wie am künstlichen Transversalmagnete, und dafs das Eisenfeilicht sich rund um den ersteren anlege, an letzterem aber nur in den Richtungslinien der beiden Pole festhänge[1]. Allein beide Argumente sind ungenügend. Beim elektrischen Leiter berühren sich beide entgegengesetzte Pole in seiner Axe, beim künstlichen Transversalmagnete dagegen befinden sie sich in mefsbarer Entfernung von derselben, jener kann daher keine Indifferenzlinien zeigen, wie dieser, und das Eisenfeilicht mufs sich daher auf seiner ganzen Oberfläche anlegen. Der elektromagnetische Draht nämlich, woran dieses letztere Phänomen beobachtet wird, ist entweder dünn oder dick. Im ersten Falle liegen die beiden Pole einander so nahe, dafs keine Stelle von demselben unbedeckt bleiben kann, im zweiten Falle aber wird überhaupt kein Anhängen des Eisenfeilicht beobachtet werden, wenn der erregte Magnetismus nicht bedeutend stark ist, und dann kann gleichfalls keine Stelle unbedeckt bleiben. Schwerlich wird dieses Phänomen nämlich schon an dickeren Drähten, als solchen beobachtet seyn, welche zwei Lin. im Durchmesser hatten, und diese sind noch immer zu dünn, als dafs bei der Anziehung von zwei magnetischpolaren Linien eine Stelle unbedeckt bleiben sollte. Es scheint mir in dieser Erscheinung vielmehr ein Beweis *für* die Theorie der transversal polaren Linien zu liegen; denn wenn man zwei Magnetstäbe mit ihren freundschaftlichen Polen neben einander legt, und auf ihre Vereinigungslinie Eisenfeilicht streuet, sie dann 0,5 bis 1 Lin. von einander entfernt, so bietet das Eisenfeilicht gerade solche streifige Gestalten dar, als ein stark magnetischer Leitungsdraht sie zeigt. Es wäre allerdings der Mühe werth, mit Hülfe der riesenmäfsig grofsen Apparate, welche manchen Instituten zu Gebote stehen, diese Versuche in einem gröfseren Mafsstabe zu wiederholen, weil hierdurch vielleicht die endliche Entscheidung der Streitfrage herbeigeführt werden könnte. Ich selbst habe zu diesem Ende eine Glasröhre von 1 Z. Durchmesser mit Stanniol so überklebt, dafs die Enden desselben etwas mehr als einen Zoll über die Enden der Glasröhre hinausragten. In die Glasröhre waren an beiden Seiten durchbohrte Körke gesteckt, in diese die Enden von zwei 1,5 Lin. im Durchmesser haltenden Messingdrähten, um welche die Rän-

1 Pfaff: der Elektromagnetismus, u. s. w. p. 278.

der des Stanniols herumgelegt, mit einem schmalen Streifen Stanniol umwunden, und so auf den Drähten festgelöthet wurden. Allein der oben (II. A. 6.) beschriebene Apparat war zu schwach, oder vielmehr die Bedingungen waren zu ungünstig, als dafs er die Anziehung des Eisenfeilicht auf der Oberfläche dieses hohlen Metallcylinders bewirkt haben sollte, obgleich ich nicht zweifle, dafs bei Singer's und andern ähnlichen Batterieen noch gröfsere Cylinder angewandt werden könnten.

Inzwischen reicht diese, in so mancher Hinsicht empfehlenswerthe Hypothese nicht hin, um die wichtigsten elektromagnetischen Phänomene zu erklären, und zwar stehen ihr folgende Argumente entgegen.

1. *Sie läfst das ursprüngliche elektromagnetische Hauptphänomen unerklärt.* Hält man einen künstlichen Transversalmagnet *über* eine Declinationsnadel, beider Axen in einer verticalen Ebene liegend, so ist allerdings die östliche oder westliche Abweichung der Nadel derjenigen völlig gleich, welche sie unter dem galvanischen Verbindungsdrahte zeigt, hält man ihn aber, ohne Umdrehung um seine Axe *unter* die Nadel, so ist die Abweichung derselben mit der vorigen identisch, anstatt ihr entgegengesetzt zu seyn, wie beim elektrischen Leiter. Es folgt dieses so ziemlich nothwendig aus der Erzeugung des Transversalmagnetes durch die Einwirkung der unteren Seite eines elektrischen Leiters, welcher über ihm hingeführt ist, wonach er also nur die Wirkung dieser *einen* Seite erhalten kann. Auf gleiche Weise wirkt der Transversalmagnet östlich oder westlich von der Nadel, mit dieser in einer horizontalen Ebene gehalten, nur anziehend auf den einen und zugleich abstofsend auf den andern Pol der Declinationsnadel, ist dagegen indifferent gegen die Inclinationsnadel, statt dafs der galvanische Verbindungsdraht vielmehr indifferent gegen jene ist, diese dagegen in einer verticalen Ebene bewegt. Hierbei wird jedoch vorausgesetzt, dafs der künstliche Transversalmagnet keine Drehung um seine Axe erhält, sondern diejenige Lage behält, in welcher er über der Declinationsnadel gehalten eine Abweichung derselben bewirkte.

2. Auch das Umlaufen des Poles um den lothrechten galvanischen Leiter ist aus dieser Hypothese nicht erklärlich. Wie man sich nämlich die Lage der beiden polaren Linien am verticalen Leiter auch denken mag, so mufs nothwendig die in

einer horizontalen Ebene um ihn bewegliche Nadel zwei Maxima und zwei Nullpuncte der sie bewegenden Kraft finden, erstere da, wo ihre verlängerte Axe auf die Ebene beider Linien senkrecht gerichtet ist, letztere da, wo sie mit derselben zusammenfällt. Rücksichtlich der ersteren muſs die Abweichung der genäherten Magnetnadelspitze auf beiden Seiten des elektrischen Leiters entgegengesetzt seyn, was der Erfahrung widerstreitet; in Beziehung auf die Indifferenzpuncte könnte man allerdings sagen, daſs diese geometrischen Puncte in der Wirklichkeit durch die physische Nadelspitze nicht eingenommen werden könnten. Allein es wäre doch in der That auffallend, wenn dieselben bei allen zahlreichen Versuchen niemals zum Vorschein gekommen seyn sollten, und auf allen Fall bliebe die überall im ganzen Umfange des lothrechten Leiters ganz gleiche Ablenkung der Nadelspitze durchaus unerklärlich.

3. Das Verhalten zweier elektromagnetischer Leitungsdrähte gegen einander stimmt mit der Annahme des bipolaren Transversalmagnetismus nicht überein. Wenn nämlich zwei solche Drähte bei gleichgerichteter Strömung über einander liegen, so müſsten sie sich in *verticaler Richtung* abstoſsen, statt daſs sie in *parallelen horizontalen Ebenen* sich einander zu nähern suchen und dann in *verticaler Richtung* angezogen werden. Bei ungleicher Richtung der Strömungen müſsten sie sich dagegen in *verticaler Richtung* anziehen, statt daſs sie in dieser abgestoſsen werden, und sich in *parallelen horizontalen Ebenen* von einander zu entfernen streben. Für die horizontale Lage beider neben einander stimmt die Hypothese mehr mit der Erfahrung überein.

4. Genau genommen läſst diese Hypothese das Verhalten der spiralförmig gewundenen Scheibe unerklärt. Wäre nämlich jeder Draht ein bipolarer Transversalmagnet, so müſste diese Scheibe einen bipolaren Cylinder von nördlichem und südlichem Magnetismus bilden, dessen Stärke an jeder Stelle eines Querschnittes desselben völlig gleich wäre, statt daſs die Mitte beider Seiten die gröſste Intensität der magnetischen Kraft zeigt.

5. Endlich beantwortet diese Hypothese auch *die* Frage nicht genügend und mindestens nicht direct, warum der elektrische Leitungsdraht bloſs über oder unter den schraubenförmig gewundenen Stahldrähten hingeführt diese letzteren bipolar magnetisch macht, und nicht auch dann, wenn er mitten

durch die Axe eines solchen Cylinders geleitet wird, welches, so viel ich weifs, noch niemanden gelungen ist. Ich selbst habe, aufser manchen Versuchen mit engeren Windungen, eine Glasröhre von einem Zoll im Durchmesser mit Stahldraht umwunden, vermittelst zweier durchbohrter Körke in den Enden derselben eine engere Glasröhre in dieselbe geschoben, und in dieser einen Kupferdraht in der Axe der ersteren ausgespannt, durch welche 5 Batteriefunken geleitet wurden, deren jeder einen 1,5 F. langen stählernen Clavierdraht von No. 12 zu schmelzen vermochte, ohne dafs dadurch Magnetismus im Stahldrahte erzeugt wurde. Wäre aber der elektrische Leitungsdraht selbst ein Transversalmagnet, so müfste er auf diese Weise eben so gut Transversalmagnetismus erzeugen, als wenn er über oder unter den Stahldrahtwindungen hingeführt wird, und eigentlich noch wohl stärker.

2. Theorie des tetrapolaren Transversalmagnetismus.

Berzelius[1] äufserte zuerst beiläufig, der elektrische Strom scheine ihm in einem schmalen Streifen Stanniol an jeder Seite desselben zwei über einander liegende ungleiche magnetische Pole zu erzeugen, und auch H. Davy[2] hegte anfänglich diese Meinung. Nicht sowohl hierdurch bewogen, als vielmehr durch die Beobachtung des oben (III. C. 2.) beschriebenen beweglichen Apparates, bei welchem unter andern der lothrecht herabgehende elektrische Leiter durch einen, in einer horizontalen Ebene von der einen Seite genäherten Magnetpol angezogen, von der andern abgestofsen wird, und wobei die gegenüberstehende Seite des elektrischen Leiters sich gerade entgegengesetzt verhält, wurde v. Althaus[3] veranlafst, in die Peripherie des elektromagnetischen Leiters vier polare Puncte zu setzen, und zwar zwei nordpolare einander diametral gegenüber dahin, wo der Draht Abstofsung gegen den Nordpol des Magnetes zeigte, und zwei südpolare gleichfalls einander diametral gegenüber dahin, wo der Südpol zurückgestofsen wurde. Von Althaus,

1 Ann. Chim. Phys. XVI. 117. Schweigg. XXXI. 100.

2 Journ. de Phys. XCIV. 77. Vergl. G. LXXI. 235.

3 Versuche über den Elektromagnetismus u. s. w. Heidelberg, 1821. 8.

in der Kunst des Experimentirens durch seine Bekanntschaft mit dem zu frühe verstorbenen Boeckmann trefflich geübt, erklärte aus dieser Hypothese sehr scharfsinnig die Einwirkung des elektrischen Leiters auf die Magnetnadel, die Wirkung der Spiralscheiben, der schraubenförmig gewundenen Drähte, die Bewegungen eines gebogenen frei schwebenden Leitungsdrahtes durch einen genäherten Magnet, insbesondere aber die damals eben bekannt gewordene Erscheinung der Anziehung zweier beweglicher elektrischer Leiter durch einander bei gleichgerichteter Strömung, und der Abstoſsung bei entgegengesetzter. Es muſste nothwendig auffallen, daſs dieses Phänomen, dessen Erklärung damals Ampère wegen des darin liegenden Widerspruches gegen die bekannten elektrischen Gesetze so sehr beschäftigte, aus der Hypothese der tetrapolaren magnetischen Linien
Fig. 127. unmittelbar und nothwendig folge, wie schon der Augenschein lehrt, wenn man nur die Durchschnitte von zwei solchen Leitern a und b über einander zeichnet.

Als ich selbst diese Theorie genau und sorgfältig prüfte, war es mir auffallend, daſs sich nirgend am Umfange des elektromagnetischen Leiters eine Anziehung und Abstoſsung der beiden Pole auch der feinsten Nadeln mit Sicherheit zeigen wollte, obgleich zuweilen ein Festhängen der Magnetnadelspitze an einigen Stellen desselben zum Vorschein zu kommen schien. Aus diesem Grunde glaubte ich diese Hypothese verlassen zu müssen, als ich das oben erwähnte Gesetz auffand, wodurch allerdings eine Hauptschwierigkeit gehoben wurde, indem hieraus hervorging, warum keine einzige der polaren Linien, ihres wirklichen Daseyns ungeachtet, durch die Spitze einer Magnetnadel sichtbar werden konnte. Hiernach suchte ich also die elektromagnetischen Erscheinungen dadurch zu erklären, daſs ich annahm, jeder elektromagnetische Leiter sey ein tetrapo-
Fig. 128. larer Transversalmagnet, dessen Querschnitt a einen Kreis mit vier Polen bilde, und zwar, bei einer elektrischen Strömung von N. nach S., unten östlich und oben westlich einen Nordpol, unten westlich und oben östlich einen Südpol[1]. Diese Hypothese empfiehlt sich hauptsächlich dadurch, daſs sie das entge-

---

1 G. LXX. 141. LXXII. 20. In den dortigen Figuren findet sich eine Verwechslung der elektrischen Strömung, wie Pfaff richtig erinnert. S. der Elektrom. S. 266.

gengesetzte Verhalten der Magnetnadel über und unter, desgleichen zu beiden Seiten des elektrischen Leiters, so wie auch die wechselseitigen Einwirkungen zweier solcher elektromagnetischer Drähte auf einander recht gut darstellt, endlich auch bei der Annahme von zwei entgegengesetzten elektrischen Strömungen einer jeden derselben ähnliche, aber entgegengesetzte Wirkungen rücksichtlich der Hervorrufung des Magnetismus beilegt; allein vor einer genauen Prüfung besteht auch diese nicht.

Einige Gelehrte, namentlich RASCHIG[1], KRIES[2], GILBERT[3] u. a. haben gleich anfangs Einwendungen gegen dieselbe gemacht, deren einige sich zwar beseitigen lassen, z. B. dafs man vermittelst einer Zusammensetzung von vier Stahlmagneten den Querschnitt eines elektromagnetischen Drahtes nicht künstlich nachbilden kann (wobei aber die Pole nicht vom Mittelpuncte ausgehen), ferner dafs Eisenfeilicht sich im ganzen Umfange des elektrischen Leiters anlegt (wovon die Nothwendigkeit übrigens schon oben bei der Prüfung des bipolaren Transversalmagnetismus nachgewiesen ist), endlich dafs die stets sich gleich bleibenden Abweichungen der Magnetnadel noch in so grofsen Entfernungen vom lothrechten elektromagnetischen Leiter statt finden (indefs mufs die gleichzeitige Einwirkung aller vier polaren Linien sich eben so weit hin erstrecken, als die magnetische Kraft überhaupt reicht, wonach also die einmal statt findende Wirkung in jeder Entfernung *der Art nach* die nämliche bleibt, bis sie abnehmend überhaupt verschwindet). Folgende Argumente scheinen mir aber nicht füglich einer Beseitigung fähig zu seyn.

1. Die Theorie ist in einem Hauptpuncte unvollständig. Zugegeben nämlich, dafs das Umlaufen eines Magnetpoles um den ganzen Umfang des elektrischen Leiters, selbst auch mit gleicher Stärke, durch Benutzung des oben angegebenen Gesetzes erklärt werden könnte, so ist kein genügender Grund beigebracht, warum diese Bewegung stets nur nach *einer* Richtung erfolgt, indem sie eben so gut auch nach der entgegengesetzten erfolgen kann. Um sich hiervon zu überzeugen, darf man nur die Nadel in die Richtung der zwei gleichen Pole brin-

1 G. LXXI. 39.
2 Ebend. p. 58.
3 Ebend. p. 64.

gen, wobei sich bald ergiebt, dafs sie dann eben so gut nach der einen als nach der andern Seite abweichen könnte. Es liefse sich zwar diesem Argumente mit einer nicht schwierigen Voraussetzung begegnen, allein man mufs nicht stets zu neuen Hypothesen seine Zuflucht nehmen, um die alten zu retten.

2. Seebeck's und Davy's oben (III. B. 5.) angegebene Versuche über die Magnetisirung der Stahlnadeln um die ganze Oberfläche des elektromagnetischen Leitungsdrahtes so, dafs der Nordpol und Südpol derselben stets nach einer Seite hin liegt, stehen mit dieser Hypothese im Widerspruche [1].

3. Die Wirkungen der schrauben- und spiral-förmigen Windungen, so bestimmt, mindestens die ersteren, aus der Hypothese des bipolaren Transversalmagnetismus folgen, sind mit der Theorie des tetrapolaren Transversalmagnetismus entweder völlig unverträglich, oder auf allen Fall nicht gut vereinbar. Zwar hat von Althaus versucht, diese Erscheinung zu erklären, indem er annimmt, dafs bei einem schraubenför-
Fig. 129. mig umschlungenen Cylinder a b die nordpolaren Magnetismen $\alpha, \alpha, \alpha \ldots \alpha', \alpha', \alpha' \ldots$ sich nach a hin unten vereinigen, wodurch dann ein Nordpol in der Richtung $\alpha\beta$ entstehen müsse, nach Aufsen aber zerstreuen; dafs dagegen die südpolaren Magnetismen $\beta, \beta, \beta, \ldots \beta', \beta', \beta', \ldots$ sich nach der entgegengesetzten Seite nach b hin vereinigen, wodurch dann in β ein Südpol entstände, nach Aufsen aber auch diese sich zerstreuen. Hiernach müfste dann von b aus nach Aufsen sich nordpolarer, und von a aus gleichfalls nach Aufsen südpolarer Magnetismus zeigen, welchen von Althaus auch wahrgenommen haben will, obgleich dieses weder mit meinen eigenen Beobachtungen, noch auch namentlich mit denen von G. G. Schmidt [2] übereinstimmt.

4. Auch nach dieser Hypothese ist nicht erklärlich, warum ein mitten durch ein Stahldrahtgewinde gehender elektrischer Flaschenschlag keinen Magnetismus erzeugt, indem hierdurch nothwendig auf gleiche Weise ein tetrapolarer Magnet entstehen müfste, als nach der Schmidt'schen Theorie ein bipolarer.

5. Endlich könnte man der Theorie noch einen Mangel an innerer Bündigkeit entgegensetzen, indem die durch sie erklärten elektromagnetischen Erscheinungen eben so gut auch dann

---

1 Vergl. Pfaff: der Elektromagnetismus. S. 267.
2 G. LXXII. 3.

folgen, wenn man 6, 8.... überhaupt 2n polare Linien am elektromagnetischen Leiter annimmt.

3. Prechtl's Theorie.

Da es hier nicht darauf ankommt, die Vorstellungen Prechtl's von dem Wesen des Magnetismus und der Elektricität überhaupt zu erörtern, und die Meinung desselben von der Identität beider ohnehin oben im Wesentlichen schon geprüft ist, hier dagegen zunächst nur diejenige Theorie zur Untersuchung kommen kann, woraus derselbe die Wirkungen des elektromagnetischen Leiters erklärt, so läſst sich dieses aus seinen Abhandlungen[1] hierüber mit wenigen Worten herausheben. Jeder elektromagnetische Leiter ist nach ihm ein Transversalmagnet, dessen polare Linien der Zahl seiner Seiten correspondiren. Ueber den Fall, daſs dieser Leiter aus einem dreiseitigen Prisma bestände, finde ich nichts besonders erwähnt, die übrigen Formen aber, deren Querschnitte reguläre Figuren bilden, sind sämmtlich berücksichtigt. Ist demnach der Leiter der Elektricität ein viereckiger Stab, so drückt die Zeichnung eines Querschnittes desselben sowohl die Lage der polaren Linien als auch die Richtung der Magnetnadel um denselben aus[2]. Eben dieses ist der Fall für ein sechsseitiges Prisma, bei welchem also die magnetischen Richtungen je zweier an einander liegender Seiten entgegengesetzt seyn sollen. Minder nicht gilt dieses für Vielecke von gleicher Seitenzahl; ist aber die letztere ungleich, so stellt sich in der Magnetisirung die Gleichheit dadurch her, daſs zwei an einander liegende Seiten sich in der nämlichen Richtung magnetisiren, denn die Gleichheit der Seiten hat hier keinen Einfluſs. Nimmt man zum Schlieſsungsdrahte z. B. ein zwölfseitiges Prisma von unendlich kleinem Durchmesser, oder was dasselbe ist, ein Prisma von endlichem Durchmesser und unendlich vielen Seitenflächen, d. h. einen Cylinder, so liegen hier die einzelnen Polaritäten sehr nahe an einander, und es vereinigt sich also auf eine Magnetnadel von endlicher Länge die Gesammtwirkung aller der Polaritäten, welche über dem Durchmesser desjenigen Quer-

Fig. 130. Fig. 131. Fig. 132.

1 G. LXVII. 259. LXVIII. 187. 203. Schweigg. Journ. XXXVI. 399.

2 Daſs die letztere unrichtig sey, eben wie bei der nächstfolgenden Figur, möge hier nur beiläufig bemerkt werden.

schnittes, mit dem die Magnetnadel parallel steht, befindlich sind. Nur auf eine unendlich kleine Magnetnadel würde die Elementarwirkung, wie beim Vielecke erfolgen.

Bei einem Schliefsungsdrahte, der ein Cylinder oder ein viereckiges Prisma ist, dessen Durchmesser gegen die Länge der Nadel, auf welche er wirkt, verschwindet, gehen also die magnetischen Polaritäten scheinbar nach einer und derselben Richtung, — scheinbar deswegen, weil diese Wirkung nicht die den einzelnen Seiten eines Vielecks zukommende, sondern die Gesammt-Wirkung derselben ist.

Gegen diese Theorie scheint mir einzuwenden, dafs sie unklar und in sich selbst nicht consequent ist. Entweder sind nämlich die Richtungen der Magnetismen bei den verschiedengestalteten Leitern in der Wirklichkeit genau so, wie sie in den Zeichnungen ausgedrückt sind, so widerspricht dieses der Erfahrung, indem bekanntlich die Magnetnadel sich um runde und vierseitige Leiter, deren Durchmesser gegen den ihrigen keineswegs verschwindend sind, ganz auf gleiche Weise bewegt. Soll aber die Darstellung der Wirkungen vier- und vielseitiger Leiter blofs von solchen gelten, deren Durchmesser verschwindend sind, so mufs nachgewiesen werden, auf welche Weise aus diesen diejenigen mit mefsbarem Durchmesser entstehen, um welche die Nadelspitze sich im Kreise bewegt. In dem Quer-
Fig. 132. schnitte des runden Leiters sind zwar, um dieses Phänomen zu erklären, die Richtungen der Magnetismen alle nach einer Seite hin gezeichnet, es ist aber nicht nachgewiesen, warum die dazwischen liegenden, diesen entgegengesetzten, fehlen. Will man hierauf erwiedern, dafs sie einander zu nahe liegen, so bleibt die Frage unbeantwortet, warum die andern, gleichfalls entgegengesetzten, Pole weiter von einander abstehen. Ist endlich die Zahl der ungleichnamigen Pole wirklich unendlich, so fallen sie überall zusammen, müssen sich neutralisiren, und es ist gar kein Effect möglich.

So lange diese, das Ganze treffenden Einwürfe nicht beseitigt sind, scheint es mir überflüssig, die Theorie an einzelnen Erscheinungen zu prüfen. Prechtl hat zwar zu zeigen gesucht, in wie fern aus der Lage der ungleichnamigen Pole in den Transversalmagneten das Umlaufen der Nadelspitze um den

galvanischen Leiter folge[1], allein hierdurch werden die eben nachgewiesenen Gegengründe keineswegs beseitigt, und zunächst trifft jede Hypothese dieser Art der Einwurf, daſs sie keinen nothwendigen Grund nachzuweisen vermag, warum das Umkreisen stets nur nach ein und derselben Seite hin statt findet.

4. Seebeck's Theorie.

Seebeck hat in seiner mehrmals erwähnten Abhandlung[2] die Lehre vom Elektromagnetismus gleich nach der Auffindung des ersten Hauptphänomen's durch eine groſse Zahl mannigfaltig abgeänderter, und sehr genauer Versuche fast zu demjenigen Grade der Ausbildung befördert, welchen sie bis jetzt überhaupt erhalten hat, und dabei zugleich eine Theorie derselben aufgestellt, welcher er auch nachher treu geblieben zu seyn scheint. Hiernach „giebt es am ganzen schlieſsenden Drahte nirgend feste Pole oder einzelne Stellen, an welchen entweder positiver oder negativer Magnetismus im Uebermaſse vorhanden wäre, nirgend einen feststehenden magnetischen Kern. Ein polarer magnetischer Gegensatz zweier entgegengesetzter Puncte am Schlieſsungsdrahte, oder in dessen Atmosphäre ist also nur dadurch begründet, daſs die Richtung des durch die Action der Säule erregten Magnetismus entgegengesetzt, und + M. nach der einen, — M nach der andern Seite gerichtet ist. Jeder Punct in der cylindrischen magnetischen Atmosphäre, welche den Stab erfüllt und umgiebt, ist nordpolar und südpolar zugleich, nach der einen Seite zu nordpolar, nach der andern südpolar, so daſs also auch alle, von der Axe des Stabes ausgehende Radien in der senkrecht auf den Längendurchmesser des schliessenden Drahtes stehenden Ebene, nach der einen Seite zu als nordpolar, nach der andern als südpolar anzusehen sind, und zwar in gleichmäſsig wechselnder Folge, indem der nordpolare Magnetismus des einen Radius dem südpolaren des andern zugekehrt ist.“

Die hier in ihren wesentlichen Theilen mit den eigenen Worten des berühmten Gelehrten wiedergegebene Theorie ist durchaus klar und bestimmt. Weit weniger scheint mir dieses

---

1 Kastner's Archiv II. 155.

2 Berlin. Denksch. 1820—21. S. 335 ff.

bei denjenigen weiteren Aeuſserungen der Fall zu seyn, worin derselbe den Unterschied zwischen einem Stahlmagnete und dem elektromagnetischen Drahte zu erläutern, und die Vertheilung des Magnetismus im Stahle nebst der hieraus folgenden Wirkungsart der Stahlmagnete aufzuklären sucht. Das Letztere gehört an sich nicht hierher, die Hauptäuſserung über das Erstere aber theile ich gleichfalls um so lieber mit Seebeck's eigenen Worten mit, weil sie mir selbst nicht völlig deutlich geworden ist, übrigens aber in der Hauptsache nichts abzuändern scheint. „Der Magnetismus im Eisen und Stahle unterscheidet sich also darin vom Magnetismus in der Galvanischen Kette, daſs die den diametral einander gegenüberliegenden Puncten des Stahlmagnetes zugehörenden inneren Theile der magnetischen Atmosphäre in einander greifen, und in dem Metalle so innig verbunden sind, daſs sie auf keine Weise von einander getrennt werden können, indem die Axe der ganzen, den Stab erfüllenden und umgebenden magnetischen Atmosphäre, als ein mitten zwischen den Polen an der Oberfläche des massiven cylindrischen Magnetstabes liegender Kreis angenommen werden muſs. In der galvanischen Kette dagegen können nicht nur die einander diametral gegenüber liegenden Theile der einfachen magnetischen Atmosphäre der Leiter bis zu jedem beliebigen Abstande von einander entfernt werden, wodurch sie um so vollkommener in dieser, vor der Entdeckung Oersted's gänzlich unbekannten, einfachen Form hervortreten, sondern es wird sogar aller Magnetismus der Galvanischen Kette aufgehoben, wenn die einander diametral entgegengesetzten Theile der magnetischen Atmosphäre bei völliger Berührung der Metalle auf gleiche Art in einander greifen, als in den Stahlmagneten."

Verstehe ich die Ausdrücke recht, so sind die entgegengesetzten Magnetismen im Stahle durch einander gebunden, so daſs die Polarität nur an den Enden der Stäbe in gröſster Stärke hervortritt und in der Mitte bis zur Indifferenz verschwindet, statt daſs dieselben am elektromagnetischen Leiter an allen Puncten zum Vorschein kommen, dann aber verschwinden und zur Bildung eines gleichfalls bipolaren Magnetes sich vereinigen, wenn die Drähte mit einander in Berührung kommen.

Daſs auch diese Theorie den Anforderungen an eine solche nicht genüge, läſst sich bald zeigen, indem sie in sich entweder unmöglich oder unbestimmt ist, und bei erhaltener Bestim-

mung die Erscheinungen selbst gar nicht erklärt. Nach den Ausdrücken Seebeck's ist die den elektromagnetischen Cylinder bildende Zahl der Radien mit entgegenstehenden Magnetismen an ihren Seiten unendlich. Wäre dieses im strengsten Sinne der Fall, so würde gar keine Wirkung möglich seyn, indem jeder Punct in einer auf den Schliefsungsdraht senkrechten Ebene zugleich nordpolarisch und südpolarisch seyn müfste, deren Wirkungen auf die Spitze einer Magnetnadel von mefsbar räumlichem Inhalte sich um so sicherer aufheben würden, als der Thesis nach auf jeden räumlichen Punct in der Spitze der Magnetnadel eine unendliche Menge nordpolarer und südpolarer Puncte im magnetischen Cylinder um den Leitungsdraht einwirken müfsten. Wir wollen indefs annehmen, die Zahl der nord- und süd-polaren Puncte sey eine unendliche, so giebt es im Umfange des elektrischen Leiters für eine mit ihrer Axe lothrecht auf die Axe des Leiters gerichtete Magnetnadel so viele Puncte, in welchen dieselbe auf einen gleichnamigen Pol senkrecht gerichtet ist, dessen seitwärts bewegende Kraft also verschwindet, zugleich aber sich in gleichem Abstande von zwei ungleichnamigen Polen befindet, deren Wirkungen sich sonach gleichfalls aufheben, als wie viele Paare von Polen den Leiter umgeben. Obgleich daher mit der Zahl der Paare dieser Pole die Menge der Lagen wächst, in denen die Nadelspitze zwischen zwei ungleichen Polen befindlich nach den Gesetzen der magnetischen Wirksamkeit eine Abweichung erhalten mufs, so wächst hiermit auch zugleich die Zahl der Indifferenzpuncte, und man kommt also mit zwei polaren Linien oder mit vieren eben so weit, als mit einer beliebigen endlichen Zahl Paare ungleichnamig magnetischer Puncte, indem auch bei diesen endlich die Richtung des Umlaufens der Nadelspitze um den elektrischen Leiter unbestimmt bleibt. Es finden somit gegen diese Theorie die nämlichen Einwendungen statt, welche mich bewogen haben, die von mir selbst früher vertheidigte Theorie aufzugeben.

5. Pohl's Theorie der Circularpolarität.

G. F. Pohl suchte anfangs[1] die elektromagnetischen Erscheinungen am Schliefsungsdrahte der Volta'schen Säule da-

---

1 G. LXIX. 191.

durch zu erklären, dafs er jede Querzone eines solchen Leiters für eine in sich selbst zurücklaufende Magnetnadel hielt. Später[1] ging derselbe ganz zu SEEBECK's Ansicht über, indem er den zuerst aufgestellten Satz dahin modificirte, die beiden genäherten Pole der in einen Kreis zusammengebogenen Magnetnadel gingen durch ihre unmittelbare Berührung in einander über, und verbreiteten sich als zwei neben einander liegende Pole über den ganzen Umfang der kreisförmig zusammengebogenen Nadel (mit Verschwindung des sonst nothwendigen Indifferenzpunctes in ihrer Mitte). Hiernach soll dann *jeder Punct des Schliefsungsdrahtes als Nord- und Süd-Pol zugleich wirken, nur nach tangential-entgegengesetzten und durch die Verbindungs-Ordnung bestimmten Richtungen.*

In dieser Modification hört das Ganze aber auf eine Theorie zu seyn, indem blofs das ursprüngliche Oersted'sche Phänomen mit einem andern Ausdrucke bezeichnet wird, und anstatt zu sagen, die Spitze der Magnetnadel läuft um den elektromagnetischen Leiter im Kreise umher, (welches der Natur der Sache nach nothwendig durch Tangential-Kräfte bewirkt werden mufs) sagt POHL: sie wird von jedem Puncte desselben durch eine von diesem ausgehende Tangentialkraft herumgetrieben. Nach SEEBECK liegt in jedem Puncte nach der einen Seite nordpolarer, nach der andern südpolarer Magnetismus, nach POHL aber wirkt jeder einzelne Punct nach der einen Seite nordpolarisch, nach der andern südpolarisch magnetisch abstofsend. Die von ihm in den Figuren zur Erläuterung gezeichneten Magnetnadeln können daher keinen wirklichen Abstand der Pole, wäre er auch nur verschwindend klein, andeuten, sondern blofs die Richtung der Tangentialkräfte bezeichnen. Dafs aber irgend ein materieller Punct zugleich ein nordpolarer und ein südpolarer Magnet *seyn* sollte, also ein Gegebenes und auch sein Entgegengesetztes, ein + und zugleich ein —, ist undenkbar, mithin kann einem jeden Puncte nur eine nach einer Seite wirkende nordpolar magnetische Kraft, und nach der andern eine südpolare beigelegt werden, wodurch nach dem Begriff des Entgegengesetzten der Punct selbst = 0 seyn würde[2]. Will man

1 G. LXXI. 47. Vergl. LXXIII. 259.

2 POHL giebt dieses selbst zu, indem er bei G. LXXIV. 391. sagt: „Einen N. u. S. Pol giebt es hier also gar nicht, oder man

es nun auch nicht geradezu für undenkbar halten, daſs von dem eigentlichen 0 aus (einem geometrischen, nicht einem räumlichen Puncte) ohne ausgedehntes, materielles Substratum, zwei entgegengesetzte Kräfte nach entgegengesetzten Seiten hin wirkend ausgehen sollen, so bietet wenigstens die Natur kein Analogon dar. Es läſst sich hierfür nicht geltend machen, daſs nach Coulomb jedes kleinste Stück eines Magnetes wieder ein Magnet mit zwei Polen sey, denn mit solchen durch Versuche erhaltenen Stücken sind wir noch weit von einem Stahlatome, geschweige denn von einem geometrischen Puncte entfernt. Nur dann also, wenn Pohl räumliche magnetische Pole, und zwar entgegengesetzte, nach der einen Seite nordpolarische, nach der andern südpolarische in der Oberfläche des galvanischen Leiters annimmt, giebt er eine Theorie, welche der von Seebeck aufgestellten gleich ist, und daher gleichen Gegengründen unterliegt.

Insofern übrigens Pohl das elektromagnetische Hauptphänomen bloſs genau bezeichnet hat, ohne jedoch durch eine Theorie die Aetiologie desselben nachzuweisen, und wenn man sonach seine Bezeichnungen und Figuren als ein Mittel der Versinnlichung betrachtet, so muſs man zugestehen, daſs er hiernach die wesentlichsten, aus demselben folgenden Erscheinungen mit groſser Consequenz erklärt hat. Letzteres ist in der angegebenen Abhandlung nur kurz, ausführlicher aber in den

---

müſste uneigentlicher Weise jeden Punct als N. u. S. Pol zugleich ansehen, und mithin deren unendlich viele annehmen, welches physicalisch ganz in demselben widerspruchslosen Sinne zu fassen ist, in welchem man in der Mathematik den Kreis als ein Polygon von unendlich vielen geraden Seiten betrachtet. Man wird indeſs zugestehen, daſs durch das letztere Hülfsmittel nur die Vorstellung eines Kreises selbst erleichtert, und diese sinnlich darstellbarer wird. Strenge genommen ist aber kein Theil des Kreises, auch nicht der kleinste endliche eine gerade Linie, und mit derselben Strenge ist nach Pohl kein Punct des elektrischen Leiters weder ein N. noch ein S. Pol, auch kann weder nord - noch südpolarer Magnetismus an irgend einen materiellen Punct gebunden seyn, indem dieser sonst hierdurch ein solcher Pol werden müſste, mithin bleibt an und um den Leiter bloſs die, die Magnetnadel bewegende, Kraft, deren Wesen und Ursprung nicht weiter erklärt, auf welche vielmehr bloſs aus der Beobachtung geschlossen wird. Insofern glaube ich es also rechtfertigen zu können, daſs dieses keine Theorie, sondern bloſs eine Construction der Erscheinungen ist.

Demonstrationen geschehen[1], vermittelst deren die Bewegung der beweglichen Leiter durch den Einfluſs des Erdmagnetismus nachgewiesen wird, und welche in sofern ein höchst schätzbarer Beitrag zur Lehre des Elektromagnetismus bleiben, als in ihnen mit geometrischer Schärfe dargethan wird, daſs und auf welche Weise alle diese Bewegungen aus dem einfachen elektromagnetischen Fundamentalversuche folgen.

6. Theorie des diagonaloiden Magnetismus.

Gleich nach der Entdeckung des Elektromagnetismus beförderte Erman nicht bloſs die Verbreitung der Kenntniss desselben, sondern vermehrte auch die damals bekannten Thatsachen und Apparate auf eine sinnreiche Weise[2]. Weil man aber eine Reihe zusammenhängender Erscheinungen nicht gut aufzufassen vermag, ohne sie in einen inneren Zusammenhang unter sich und mit andern bekannten Phänomenen zu bringen, so war es natürlich, daſs auch dieser scharfsinnige Gelehrte eine Theorie entwarf, nach welcher sich die damals bekannten Thatsachen erklären lieſsen. In Gemäſsheit der Hypothese von zwei Elektricitäten, deren jede an dem ihr zugewandten Ende des Leiters in gröſster Fülle einströmen muſs, nahm er an, daſs hiernach in diesem ein *diagonaloider Transversalmagnetismus* erregt werde, wonach im Wesentlichen an der einen Seite des diagonal getheilten Leiters AB nordpolarer, an der andern CD
Fig. 133. südpolarer Magnetismus vorherrschend seyn sollte. Indeſs waren damals bei weitem noch nicht alle Thatsachen bekannt, denen auch deswegen die Hypothese nicht genügt, und da der Erfinder derselben sie später nicht weiter auszubilden gesucht hat, so wird diese allgemeine geschichtliche Erwähnung derselben genügen[3].

F. Rückblick auf die verschiedenen Theorieen.

Ueberblicken wir nun noch einmal die verschiedenen Theorieen über den Elektromagnetismus, so können wir nicht gut

---

1 G. LXXIV. 391 ff. LXXV. 269.

2 In seiner mehrerwähnten Schrift: Umrisse zu den physischen Verhältnissen des von H. P. Oersted entdeckten elektrochemischen Magnetismus u. s. w. Berl. 1821. 8.

3 Vergl. Gilbert in Annal. d. Phys. LXVII. 382. ff.

umhin, mit Davy zu gestehen, dafs wir bis jetzt noch keine einzige völlig genügende haben, und es vielleicht überhaupt noch zu frühe ist, ernstlich an eine solche zu denken, weil die Kenntnifs der Naturgesetze im Allgemeinen, und der zur Erklärung der elektromagnetischen Erscheinungen erforderlichen im Besondern noch zu sehr in ihrer Kindheit ist[1]. Vergleicht man indefs die hier, so viel ich mir bewufst bin, mit gröfster Unparteilichkeit dargestellten Theorieen mit einander, so wird, wie mich dünkt, der Unbefangene der vom *Transversalmagnetismus* den Vorzug zugestehen. Durch Transversalmagnete hat man die hauptsächlichsten Phänomene, welche der einfache elektrische Leitungsdraht darbietet, am vollständigsten nachgebildet, und liefse sich die analoge Beschaffenheit beider mit Sicherheit nachweisen, so würde man den Elektromagnetismus als einen Zweig der allgemeinen magnetischen Erscheinungen diesen anreihen können. Dabei bleibt aber die Frage noch zu erörtern, *wie viele Pole oder Paare von Polen* im Umfange des elektrischen Leiters anzunehmen sind? Die Beantwortung dieser Frage, wozu mir Pohl's oben (III. C. 18) erwähnter Apparat vorzüglich geeignet scheint, liegt vor der Hand noch scheinbar sehr weit entfernt, um so mehr als die angestellte Untersuchung ergeben hat, dafs weder zwei noch eine beliebig grofse Menge der Aufgabe ein Genüge leisten. Wann und ob überhaupt man hierüber zur Gewifsheit gelangen werde, läfst sich um so weniger bestimmen, wenn man berücksichtigt, dafs in einem so langen Zeitraume die Frage über das Vorhandenseyn einer oder zweier Elektricitäten nicht zur definitiven Entscheidung gebracht werden konnte. Ist es mir indefs erlaubt, einige Hypothesen aufzustellen, nachdem ich den Gegenstand nach allen seinen Seiten in der vorstehenden Abhandlung genau prüfen mufste, so sind dieses folgende.

Wer sich mit gegründeter Hoffnung eines glücklichen Erfolgs diesen Untersuchungen widmen will, der mufs vor allen Dingen die individuelle Wirkungsart der Elektricität und des Magnetismus, welche in diesen Erscheinungen auf eine so höchst räthselhafte Weise verschlungen sind, scharf ins Auge fassen. Hiernach scheint es mir, als ob die Annahme der Existenz fe-

1 Vergl. Davy in Phil. Trans. 1824. 1. Ann. of Phil. 1824. Jan. p. 22. Schweigg. J. XL. 332.

ster, gleichsam starrer polarer Linien (oder Puncte, welches am Ende auf eins hinausläuft) um den elektrischen Leiter nicht zum Ziele führt. Das Verhalten der Sache scheint mir vielmehr folgendes.

1. Die Elektricität durchströmt den vollkommenen und unvollkommenen Leiter nicht als ein Continuum, sondern in einzelnen Pulsen, welche aber in unmeſsbar kurzen Zeiträumen auf einander folgen. Diese Pulsus oder Wellen sind am merkbarsten bei der galvanischen Elektricität, und offenbaren sich den Nerven in dem schimmernartigen Gefühle, welches dieselbe im thierischen Körper erregt.

2. Jede einzelne hierzu hinreichend starke Welle trennt in dem Leiter, und vermittelst dessen vielleicht auch in dessen Umgebung, den überall die Erde als eigene Atmosphäre umgebenden, und somit überall vorhandenen neutralen Magnetismus in seine beiden antipolaren Theile auf ähnliche Weise, als eine mechanische Erschütterung diese Trennung im Stahle bewirkt. Die langsamere Durchströmung stark gespannter Reibungselektricität, wenn sie durch Spitzen eingesogen ist, kann daher keine solche Pulsus ausüben, und also auch keinen Magnetismus erzeugen; ihr entgegen steht mit der heftigsten, aber auch am kürzesten dauernden Wirkung der Flaschenschlag, welcher eben diese auch durch die erregte Empfindung ankündigt, in der Mitte zwischen beiden liegt die galvanische Elektricität.

Hier scheint es mir der schicklichste Ort zu seyn, die Frage, warum das *langsame Durchströmen der Elektricität in den Leitungsdrähten keinen Magnetismus erzeugt*, nochmals näher zu prüfen. Wären zuvörderst Elektricität und Magnetismus identisch, so wäre diese gänzliche Unwirksamkeit des elektrischen Leiters auf die Magnetnadel durchaus unerklärbar, da sich nach den Versuchen von Pfaff (III. A. 13) in dem Leitungsdrahte eine solche Menge freier Elektricität befindet, daſs der genäherte Finger merkbare Funken erhält. Vermöge der Annahme einer Identität beider Potenzen würde man also die Anwesenheit der Elektricität = Magnetismus in einem solchen Leiter zugleich setzen und auch wieder aufheben, was doch ein offenbarer Widerspruch ist, und als solcher mir das gewichtigste Argument gegen diese Hypothese zu seyn scheint[1]. Pfaff

1 Vergl. oben IV. i. A.

leitet dieses Ausbleiben der magnetischen Wirkungen von der zu grofsen Spannung der Elektricität ab, allein hiergegen streitet die Erzeugung des Magnetismus durch den energischen Funken, durch den Flaschenschlag und insbesondere durch den Blitz, worin doch eine ungleich stärkere Spannung der Elektricität anzunehmen ist. Mir scheint der Grund hiervon vielmehr in Folgendem zu liegen. Es ist oben[1] bewiesen, dafs die Elektricität sich nur auf der Oberfläche der Körper verbreitet, und nicht in das Innere derselben eindringt. Hiergegen streiten aber die oben (II. C. a) erwähnten Versuche Davy's, nach denen die *Masse* und nicht die *Oberfläche* der Metalle ihr Leitungsvermögen bedingt, die Anwendung der medicinischen Elektricität, das Schmelzen sehr dicker Drähte durch den Blitz u. a. m. Sollen diese beiderlei widersprechenden Erscheinungen, und zugleich auch diejenigen, welche sich rücksichtlich der Erzeugung des Elektromagnetismus herausstellen, vereinigt werden, so müssen wir annehmen, dafs die *eigentlich strömende*, in den angegebenen Pulsationen fortschreitende Elektricität durch ihre unwiderstehliche Kraft allerdings die Massen der Körper durchdringt, die widerstrebenden Hindernisse überwältigt, und hierbei zugleich den Magnetimus scheidet. Sofern sie dagegen sich langsamer bewegt, und einseitig als + oder — E. angehäuft nach Neutralisation mit dem Entgegengesetzten strebt, somit auch Anziehung und Abstofsung bewirkt, wird sie eben durch dieses Streben nach Ausgleichung auf der Oberfläche der Körper angehäuft, und trennt die Magnetismen nicht. Kein geladener Conductor kann daher magnetisch seyn, auch keine trockne Säule die Magnetnadel afficiren, die stark gespannte, nach Neutralisation strebende Elektricität scheidet weder Wärme noch Licht aus, sondern dieses alles geschieht blofs durch die strömende, und hiernach pulsirende, in welchem Zustande die galvanische allein auftritt, weil in jedem Elemente des Leiters die Ausgleichung beider Elektricitäten statt findet.

3. Die Trennung der ungleichen, im Zustande der Neutralität gebundenen, Magnetismen ist der Erzeugung der Elektricität, oder eigentlicher der Aufhebung des gewöhnlich bestehenden elektrischen Gleichgewichts ähnlich. So wie durch Reibung, Mittheilung, den Wirkungskreis, Erwärmung u. s. w. ins-

---

1 S. Elektricität IV.

besondere aber durch einen auf Affinitätsgesetze oder wechselseitige Wahlanziehung gleichsam zurückkommenden Einfluſs heterogener Metalle auf einander beide Elektricitäten geschieden werden, so geschieht dieses nämliche durch ähnliche Ursachen beim Magnetismus, die Trennung erhält sich bei beiden bleibend nur in den Nichtleitern, wobei rücksichtlich der Form der letzteren die Elektricität gröſsere Flächen, der Magnetismus längere Stäbe vorzieht.

4. Die Scheidung der Magnetismen durch die Elektricität geschieht (als Beweis der Einfachheit aller Naturgesetze) auf eine ähnliche Weise, als die Erregung der Wärme durch Elektricität, und dieser wieder durch jene, als die Hervorrufung des Lichtes durch Wärme, der Wärme durch Licht, und wenn bei der Elektricität und dem Magnetismus keine Reciprocität rücksichtlich der wechselseitigen Hervorrufung bemerkt wird, so liegt die Ursache hiervon darin, daſs wir den Magnetismus in bedeutender Stärke im Zustande der Trennung nur an die Isolatoren gebunden besitzen, welche derselbe nicht verläſst, wenn auch die entgegengesetzten Atmosphären beider Pole sich binden. Plötzliche Trennungen beider Magnetismen gehen bloſs im elektrischen Leiter vor, und vielleicht werden künftig einmal elektrische Wirkungen der so hervorgerufenen Magnetismen entdeckt werden, deren eigentliche Quelle dann aber sehr schwer zu bestimmen seyn dürfte.

5. Auf welche eigenthümliche Weise und nach welchem bestimmten Causalverhältniſs die Trennung beider Magnetismen durch die elektrischen Wellen geschehe, dieses kann nicht früher aufgefunden werden, als bis wir das Wesen der Elektricität selbst und des Magnetismus erkannt haben, wozu für jetzt noch keine bestimmte Hoffnung vorhanden ist. Rücksichtlich der Elektricität aber ergeben die Erscheinungen so viel, daſs dieselbe im Leiter den kürzesten Weg sucht, und daher, wie auch die Form desselben seyn mag, in der Richtung ihres Fortganges einen Cylinder bildet, um welchen die elektromagnetischen Wirkungen sich in der Hauptsache überall gleichartig zeigen.

6. Um diesen cylinderförmigen elektrischen Strom werden dann bei jedem Pulsus der Strömung die Magnetismen auf eine an sich unbekannte, bloſs aus der Wirkung ersichtliche Weise getrennt, so daſs die nordpolaren nach der einen, die südpola-

ren nach der andern momentan frei werden, und weil diese Pulsus einander der Zeit nach so nahe liegen, so scheint uns ihre Wirkung eine continuirliche. In wie vielen Sectoren des Querschnittes eines z. B. cylinderförmigen elektrischen Leiters die Trennung der Magnetismen erfolgt, oder mit andern Worten, wie viele ungleiche polare Linien bei jedem Pulsus entstehen, ob die Zahl derselben nach der Dicke des Leiters und der Stärke der Elektricität verschieden ist, diese Fragen lassen sich nicht beantworten, es ist sogar noch zu frühzeitig, hierüber nur einmal eine wahrscheinliche Hypothese zu versuchen, so lange eine Hauptfrage noch nicht völlig entschieden ist, nämlich ob wir in Gemäſsheit einer einzigen elektrischen Strömung nur eine einfache, oder in Folge einer zweifachen und entgegengesetzten eine doppelte Wirkung auf den Magnetismus anzunehmen haben, oder ob endlich in der Ausgleichung beider die momentane Erregung des Magnetismus zu suchen ist. Auf gleiche Weise mögte ich nicht darüber entscheiden, nach welcher Seite hierbei der nordpolare Magnetismus gerückt werde, indem dieses von der Ansicht abhängt, ob man den Nordpol der Nadel z. B. durch den nordpolaren Magnetismus zurückgestoſsen, oder im Strome desselben bei der plötzlichen Trennung mit fortgerissen werden läſst. Ohne den verschiedenen Vorstellungsarten jedes Einzelnen rücksichtlich dieser beiden Fragen vorgreifen zu wollen, indem diese Bemerkungen ohnehin, wie gesagt, keineswegs als eine vollständige Theorie anzusehen sind, bin ich doch in Ansehung der ersteren geneigt, mit Seebeck eine zwar nicht unendliche, aber doch eine sehr groſse Menge Trennungspuncte anzunehmen, schon deswegen, weil die Fortführung der getrennten Magnetismen durch einen verhältniſsmäſsig beträchtlichen Raum im Umfange des Leiters weder mit der Geschwindigkeit der einzeln erfolgenden Pulsus, noch mit der ruhigen und wirkungslosen Herstellung des Indifferenzzustandes übereinstimmt [1]. Hinsichtlich der letzteren mögte ich lieber im Widerspruche mit Pohl die Trennung so annehmen, daſs der nordpolare Magnetismus bei einer von N. nach S. gerichteten elektrischen Strömung von der unteren Fläche des Leiters an gerechnet, in der Richtung nach O. durch das Zenith nach W. und so zurück zu liegen käme, weil es mir na-

1 Hiergegen scheinen Pohl's Versuche (oben III. C. 18) zu streiten.

türlicher scheint anzunehmen, daſs die nordpolare Nadelspitze vermöge der erregten positiv magnetischen Tangentialkraft fortgerissen werde. Daſs hiermit den von jenem Gelehrten gelieferten Demonstrationen und Rechnungen kein Abbruch geschehe, versteht sich von selbst.

Eine Anwendung dieser Sätze auf die gesammten elektromagnetischen Erscheinungen zu machen, würde zweckwidrig seyn. Indeſs will ich doch bemerken, daſs einige schwer zu erklärende Erscheinungen hierdurch eine eben so unmittelbare als vollständige Aufhellung erhalten. Es ergiebt sich nämlich nach dieser Ansicht von selbst, warum die Magnetnadel unter dem Verbindungsdrahte der beiden Belegungen einer starken Flasche keine Bewegung erhält, ohngeachtet ein Stahldraht starke Polarität annimmt, weil nämlich der Pulsus schon vorüber, und der Zustand des Gleichgewichts wieder hergestellt ist, ehe die Trägheit der Nadel überwunden werden kann, wobei jedoch die Trennung der beiden Magnetismen, bei denen kein Trägheitsmoment zu überwinden ist, vollständig erfolgt. Die Rücksicht auf dieses Factum hat mich zu der Annahme vermogt, daſs der nordpolare Magnetismus durch den gleichnamigen mit fortgerissen werde, indem dieses mit der Schnelligkeit des Erfolgs mehr übereinstimmt als die Annahme, daſs der im Leiter erzeugte südpolare Magnetismus die entgegengesetzte Polarität hervorrufe, wozu mir mehr eine Art von Stillstand gehört, die ich nach dem Verhalten der Nadel weniger anzunehmen geneigt bin. Es folgt aus den Sätzen ferner direct, warum Stahlnadeln, quer auf den elektrischen Leiter befestigt, an jeder Stelle nach einer Seite nordpolar, nach der andern südpolar magnetisch werden, endlich aber warum der elektromagnetische Leiter oben, unten oder zur Seite eines um eine Glasröhre schraubenförmig gewundenen Stahldrahtes hingeführt, Transversalmagnetismus zu erregen vermag, in der Axe desselben aber ganz ohne Wirkung bleibt, weil nämlich dann die im ganzen Umfange getrennten Magnetismen augenblicklich wieder zur Indifferenz zusammentreten.

Wenn man diesemnach die Ungewiſsheit über die Zahl der Doppelpole, in welche der Magnetismus in der ganzen Peripherie des elektrischen Leiters bei jedem Pulsus der durchströmenden Elektricität sich trennend angenommen wird, als minder bedeutend betrachtet, die zweite Unbestimmtheit über

die Lage des nordpolaren und südpolaren Magnetismus gleichfalls übersieht, dann aber die von POHL angenommenen, aus der Natur der Sache folgenden tangentialen Richtungen der entgegengesetzten abstofsenden Kräfte als in der Sache nothwendig begründet betrachtet, diesen und den hierauf gebaueten Calcül desselben zur Erklärung des elektromagnetischen Hauptphänomens und aller übrigen aus diesem folgenden benutzt, so wäre hiermit allerdings eine vollständige und genügende Theorie des Elektromagnetismus gegeben[1]. *M.*

---

1 Aufser den, in der Abhandlung selbst namhaft gemachten Schriften können der Vollständigkeit wegen noch folgende, mit Uebergehung der Abschnitte über diesen Gegenstand in den neuesten Compendien der Naturlehre, genannt werden:

Dissertatio medico-physica de electromagnetismo cet. auct. C. SCHRADER Halae 1821. Auch in Schweigg. Journ. XXXIII. 1. AMPÈRE: Recueil d'Observations électrodymiques. Par. 1822. 8. K. F. BURDACH Berichte von d. Kön. anatom. Anstalt zu Königsberg. 5ter Ber. Leipz. 1822. KASTNER Observationes de electromagnetismo. Erl. 1821. 4. Saggio di esperienze elettrometriche del Dottore Stef. MARIANINI. Venez. 1825. 8. Recherches sur le Mode de distribution de l'Électricité dynamique dans les corps qui lui servent de conducteurs; par M. DE LA RIVE. Genève 1825. 8.



